



TESIS - MN142532

**JUDUL: ANALISIS KERUSAKAN MATERIAL
SANDWICH PANEL PADA KONSTRUKSI
KAPAL MENGGUNAKAN GETARAN**

INDRA HARY WINAHYU
4114203201

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
NIP. 19590505 198403 1 012

Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D
NIP. 19620328 198803 1 001

PROGRAM MAGISTER
TEKNIK PRODUKSI DAN MATERIAL KELAUTAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER
SURABAYA
2017

HALAMAN JUDUL

TESIS - MN142532

JUDUL: ANALISIS KERUSAKAN MATERIAL *SANDWICH PANEL* PADA KONSTRUKSI KAPAL MENGGUNAKAN GETARAN

INDRA HARY WINAHYU
4114203201

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
NIP. 19590505 198403 1 012

Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D
NIP. 19620328 198803 1 001

PROGRAM MAGISTER
TEKNIK PRODUKSI DAN MATERIAL KELAUTAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
oleh :

INDRA HARY WINAHYU
NRP 4114203201

Tanggal Ujian : 19 Januari 2017
Periode Wisuda : Maret 2017

Disetujui oleh :

1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19590505 198403 1 012

(Pembimbing)

2. Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19620328 198803 1 001

(Pembimbing)

3. Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc.
NIP. 19640416 198903 1 003

(Penguji)

4. Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.
NIP. 19691231 200604 1 178

(Penguji)

5. Ir. James David Manuputty, M.Sc., Ph.D.

(Penguji)



KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyajikan penulisan tesis yang berjudul “Analisis Kerusakan Material *Sandwich Panel* pada Konstruksi Kapal menggunakan Getaran”..

Selama pelaksanaan penelitian dan penulisan thesis ini banyak sekali pihak yang telah membantu, karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D sebagai pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan, dan memotivasi penulis selama proses penelitian.
2. Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing kedua yang selalu memberikan solusi dan arahan pada segala hambatan yang terdapat pada penelitian.
3. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M. Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan sebagai pimpinan instansi penulis menimba ilmu dan menempuh studi Magister.
4. Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc., Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc., dan Ir. James Manuputty, M.Sc., Ph.D selaku penguji sidang tesis yang telah memberikan penilaian dan masukan untuk kesempurnaan penelitian.
5. Seluruh Dosen dari PPSTK ITS yang telah membimbing penulis hingga mampu menempuh pendidikan Magister.
6. Kepala Program Pascasarjana Teknik Produksi dan Material Kelautan / Teknik Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember beserta staf pengajar dan staf administrasi yang telah banyak membantu penulis selama menempuh masa studi.
7. Dekan Fakultas Teknologi Kelautan beserta staf administrasi yang telah banyak membantu penulis selama menempuh masa studi.
8. Bapak Ir. Moh. Cholil dan Ibu Lilik Mahmudah sebagai kedua orangtua penulis yang tidak ada henti-hentinya mensupport dalam berbagai cara

disetiap waktu sehingga penulis mampu menyelesaikan pengerjaan thesis dan menempuh masa studi. Serta tak lupa kepada Erza Widyarini S.KG selaku saudara kandung penulis yang membantu dalam berbagai cara.

9. Tim peneliti *sandwich panel*, yang telah memberikan semangat, masukan dan doa kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian.
10. Prof Soehardjono dan Pak Oegik dari Laboratorium Workshop Mesin ITS yang telah membimbing penulis dalam pengerjaan pengujian eksperimen getaran.
11. Kolonel Laut (T) Ir. Soegeng Poerwadi, Letkol Laut (KH) Drs. Imbalo P. Tambunan, Kapten Laut (T) Pompy Pratisna, ST., MT dan seluruh staf Laboratorium Induk Kimia dan Material, MABES AL Surabaya, yang telah mendukung pengujian laboratorium penelitian ini.
12. Bapak Nasri Dawo dan Pak Kasno dari PPNS yang telah mencurahkan tenaga dan pikiran dalam pengerjaan material *Sandwich Panel* ini.
13. Rekan-rekan Boikot 2015, Kingkong (Dodo), Fahmi, Erzad, Mbak Putri, Noor, An, Dika, Wasis, Wisnu, Mail, Rey, dan Roni yang telah bersama-sama dalam suka duka menuntut ilmu bersama-sama dengan penulis.
14. Saudara-saudara Laksamana 2009, terutama di Kost Update 2 Kebo, Coy, Zemi, Komuk, Doel, Rendra, Sob, Solo, Prabu, dan seluruh angkatan yang telah mensupport penulis dalam suka dan duka.
15. Serta Alverina Cendrakasih, selaku teman dekat penulis yang menyemangati penulis dan menjadi motivasi tambahan dalam menyelesaikan masa studi.

Surabaya, Januari 2017

Indra Hary Winahyu

ANALISIS KERUSAKAN MATERIAL *SANDWICH PANEL* PADA KONSTRUKSI KAPAL MENGGUNAKAN GETARAN

Nama Mahasiswa : Indra Hary Winahyu
NRP : 4114203201
Calon Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D

ABSTRAK

Perkembangan teknologi yang sangat pesat menuntut desainer dan *engineer* untuk terus berinovasi dalam menghasilkan sesuatu yang baru dan mempunyai nilai tambah bagi kehidupan manusia. Tidak terkecuali sistem konstruksi pada kapal. Sekarang, banyak sekali terobosan-terobosan baru dalam teknologi material. Salah satunya adalah penggunaan material *Sandwich panel* untuk konstruksi kapal. *Sandwich panel* merupakan material yang terdiri dari dua pelat baja yang dipisahkan oleh bagian inti. Material *Sandwich panel* pada kapal akan mendapat gaya berulang dari luar. Hal tersebut akan memicu adanya cacat dan kemudian bisa menyebabkan kegagalan pada material.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa pengaruh cacat pada inti material *Sandwich panel* menggunakan percobaan getaran. Percobaan yang dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental dan analisa *pemodelan*. Pengujian dilakukan dengan proses analisa antara material sandwich utuh, material sandwich cacat sebagian, dan material dengan cacat penuh. Cacat akan dibuat dengan cara pengeboran dengan lebar 8mm dengan panjang sesuai dengan lebar dari test piece.

Berdasarkan hasil penelitian, dengan munculnya cacat sebagian, frekuensi natural yang dimiliki oleh material sandwich akan rata-rata berkurang 94Hz pada *mode 2*. Sedangkan pada material *sandwich panel* cacat penuh, pengurangan frekuensi natural mencapai 84 Hz pada *mode 1* dan 264 pada *mode 2*. Hasil percobaan yang dilakukan diuji kualitas datanya dengan menggunakan nilai koherensi. Nilai koherensi yang didapat adalah 0.94 dari skala 0-1. Ini menunjukkan percobaan yang dilakukan memiliki linieritas antara data input dan output dan memiliki pengolahan data yang baik

Kata kunci : *Sandwich panel*, Cacat pada inti material, Pengujian Getaran, Frekuensi Natural

DAMAGE ANALYSIS of SANDWICH PANEL MATERIAL ON SHIP STRUCTURE USING VIBRATION

Student name : Indra Hary Winahyu
NRP : 4114203201
Supervisor : Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D

ABSTRACT

Rapid technological developments requires designers and engineers to continue innovate to produce something new that have added value to the humankind. It also happen on development of ship construction. Now aday, lot of new breakthroughs in material technology. One of the them is the use of Sandwich panel Material. Sandwich panel is a material that consist of two steel plates separated by a core part. On its application on ship, Sandwich panel will get repetitive force from the outside. This will occur a defect and then lead to failure of the material

This study will analyzed the influence of defect in core material of Sandwich panel using vibration. The study conductor using experimental methods and modelling analysis. This research is done with comparing result between the intact Sandwich panel, the Sandwich panel with half core thickness defect, and full thickness defect. Defect is made by drilling with 8mm wide and it has long that same size with Panel wide.

Based on the result of this research, when half core thickness defet was made in material core, the natural frequency of the sandwich panel is degrease 94 Hz in average on mode 1. In full defect sandwich material, the natural frequency is degrease by 84Hz in mode 1 and 264 HZ in mode 2. The coherence value in this research is 0.94 from 0-1 scale. It shows that this experiment having great liniearity between its input and output data, it also has a good data processing.

Keywords : Sandwich panel, Defect in its Core Material, Vibration Test , Natural Frequency.

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------|
| HALAMAN DEPAN..... | i |
| HALAMAN JUDUL | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN THESIS..... | iii |
| KATA PENGANTAR..... | iv |
| ABSTRAK | vi |
| ABSTRACT | vii |
| DAFTAR ISI..... | viii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xii |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar belakang..... | 1 |
| 1.2. Rumusan masalah. | 2 |
| 1.3. Maksud dan tujuan..... | 2 |
| 1.4. Manfaat. | 3 |
| 1.5. Hipotesis. | 3 |
| 1.6. Batasan Masalah. | 3 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1. Material <i>Sandwich panel System</i> | 5 |
| 2.2. Material <i>SPS</i> pada Kapal | 8 |
| 2.3. DNV Rules tentang <i>Sandwich panel</i> | 13 |
| 2.3. Getaran..... | 15 |
| 2.4. <i>Modal Analysis</i> | 17 |
| 2.4.1.Referensi Peneltian Modal Analysis pada Material Sandwich | 18 |
| 2.5. <i>Experimental Modal Analysis</i> | 19 |
| 2.6. <i>Fourier Transform</i> | 22 |

| | |
|--|-----------|
| 2.7. <i>Frequency Response Function</i> pada <i>Frequency Domain</i> | 23 |
| 2.8. <i>Noise Effect</i> | 24 |
| 2.9. Sudut Fase | 26 |
| BAB 3 METODE PENELITIAN | 29 |
| 3.1. Tahapan penelitian | 29 |
| 3.2 Studi Literatur | 30 |
| 3.3 Pengumpulan Data Awal | 30 |
| 3.4. <i>Pemodelan Sandwich panel</i> | 31 |
| 3.5. Proses Analisa Program | 32 |
| 3.6. Pembuatan Material & Spesimen Uji..... | 32 |
| 3.6.1 Proses Penyetakan <i>Sandwich panel</i> | 33 |
| 3.6.2 Proses Pembuatan Material Inti | 34 |
| 3.6.3 Proses Pembentukan Material Uji | 35 |
| 3.6.3 Proses Pembentukan Cacat pada Material Uji | 36 |
| 3.7. Pengujian Getaran | 37 |
| 3.7.1.Persiapan Pengujian | 37 |
| 3.7.2. <i>Setting</i> Alat Pengujian Getaran | 38 |
| 3.7.3.Pemilihan <i>Hammer Tip</i> | 38 |
| 3.7.4.Pengujian Pengaruh Set-up Terhadap Frekuensi | 39 |
| 3.7.5.Pengujian Frekuensi Natural Dudukan | 40 |
| 3.7.6.Pengujian <i>Panel Sandwich</i> | 41 |
| 3.7.7.Proses pengolahan data | 42 |
| 3.8. Verifikasi Hasil | 45 |
| 3.9. Analisa Hasil dan Kesimpulan | 45 |
| 3.10. Penyusunan Laporan | 45 |
| BAB 4 ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN | 47 |

| | |
|--|----|
| 4.1. Pemilihan Dimensi <i>Sandwich panel</i> | 47 |
| 4.2. Hasil dan analisa pemilihan <i>hammer tip</i> | 48 |
| 4.3. Hasil & Analisa Pengaruh set-up terhadap Frekuensi | 50 |
| 4.4. Pengujian Frekuensi Natural Dudukan | 52 |
| 4.5. Hasil & Analisis Getaran Material <i>Sandwich panel</i> Utuh | 55 |
| 4.5.1. Hasil Analisa Pemodelan <i>Sandwich panel</i> Utuh | 55 |
| 4.5.2. Hasil & Analisis Nilai Koherensi <i>Sandwich panel</i> Utuh..... | 57 |
| 4.5.3 Hasil & Analisis Pengujian Getaran <i>Sandwich panel</i> Utuh..... | 58 |
| 4.5.4. Hasil & Analisis <i>Damping ratio Sandwich panel</i> Utuh | 60 |
| 4.5.5. Verifikasi Hasil Pengujian <i>Sandwich panel</i> Utuh | 61 |
| 4.6. Hasil & Analisis Getaran Material <i>Sandwich panel</i> dengan Cacat Sebagian | 62 |
| 4.6.1. Hasil Analisa Pemodelan <i>Sandwich panel</i> dengan Cacat Sebagian | 63 |
| 4.6.2. Hasil & Analisis Nilai Koherensi <i>Sandwich panel</i> dengan Cacat Sebagian | 64 |
| 4.6.3. Hasil & Analisis Pengujian Getaran <i>Sandwich panel</i> dengan Cacat Sebagian | 65 |
| 4.6.4. Hasil & Analisis <i>Damping ratio Sandwich panel</i> dengan Cacat Sebagian . | 66 |
| 4.6.5. Verifikasi Hasil Pengujian <i>Sandwich panel</i> dengan Cacat Sebagian | 68 |
| 4.7. Hasil & Analisis Getaran Material <i>Sandwich panel</i> dengan Cacat Penuh | 69 |
| 4.7.1. Hasil Analisis Pemodelan <i>Sandwich panel</i> dengan Cacat Penuh..... | 70 |
| 4.7.2. Hasil dan Analisis Nilai Koherensi <i>Sandwich panel</i> dengan Cacat Penuh . | 71 |
| 4.7.3. Hasil dan Analisis Pengujian Getaran <i>Sandwich panel</i> dengan Cacat Penuh | 72 |
| 4.7.4. Hasil dan Analisis <i>Damping ratio Sandwich panel</i> dengan Cacat Penuh... | 73 |
| 4.7.5. Verifikasi Hasil Pengujian <i>Sandwich panel</i> dengan Cacat Penuh..... | 74 |
| 4.8. Analisa Pengaruh Cacat pada Material Inti <i>Sandwich panel</i> | 75 |
| 4.8.1. Analisa dan perbandingan hasil Analisa Pemodelan <i>Sandwich panel</i> | 76 |

| | |
|---|-----------|
| 4.8.2. Analisa dan perbandingan hasil koherensi <i>Sandwich panel</i> | 77 |
| 4.8.3. Analisa dan perbandingan hasil Pengujian <i>Sandwich panel</i> | 78 |
| 4.8.4. Analisa dan perbandingan hasil <i>Damping ratio Sandwich panel</i> | 79 |
| 4.8.5. Analisa dan perbandingan hasil verifikasi Hasil | 80 |
| BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN | 83 |
| 5.1. Kesimpulan. | 83 |
| 5.2. Saran-saran..... | 84 |
| DAFTAR PUSTAKA | 85 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 1.1 | Contoh material <i>sandwich panel</i> | 1 |
| Gambar 2.1 | Grafik hubungan <i>stress – strain</i> material elastomer..... | 5 |
| Gambar 2.2 | Pengujian ketahanan material SPS | 6 |
| Gambar 2.3 | Pengujian ketahanan material SPS | 7 |
| Gambar 2.4 | (a) Konstruksi kapal pelat baja konvensional, (b) Konstruksi kapal <i>sandwich panel</i> | 11 |
| Gambar 2.5 | Penggunaan SPS pada kapal..... | 12 |
| Gambar 2.6 | Undamped vibration | 15 |
| Gambar 2.7 | <i>Screenshot</i> penelitian <i>Sandwich panel</i> (Kumar Jha, 2007)..... | 19 |
| Gambar 2.8 | Set up penelitian getaran dengan <i>shaker test</i> | 20 |
| Gambar 2.9 | Set up penelitian getaran dengan <i>hammer test</i> | 21 |
| Gambar 2.10 | Penampang <i>accelerometer</i> dengan <i>piezoelectric</i> | 22 |
| Gambar 2.11 | Ilustrasi fungsi dari <i>Fourier Transform</i> | 22 |
| Gambar 2.12 | Ilustrasi estimasi <i>damping</i> | 24 |
| Gambar 2.13 | Ilustrasi <i>modal testing</i> secara umum | 25 |
| Gambar 2.14 | Ilustrasi sudut fase | 27 |
| Gambar 3.1 | Skema penelitian | 29 |
| Gambar 3.2 | <i>Model Sandwich panel</i> | 30 |
| Gambar 3.3 | <i>Model Sandwich panel</i> dengan kerusakan..... | 31 |
| Gambar 3.4 | Tumpuan Jepit di keempat sisi | 32 |
| Gambar 3.5 | Desain cetakan <i>Sandwich panel</i> (Utomo, 2016) | 33 |
| Gambar 3.6 | Plat yang sudah ter set dengan baik pada cetakan..... | 34 |
| Gambar 3.7 | Proses penakaran dan pencampuran komponen material inti | 35 |
| Gambar 3.8 | Proses menunggu material inti mengeras | 35 |
| Gambar 3.9 | Proses pemotongan <i>Sandwich panel</i> | 36 |
| Gambar 3.10 | Cacat pada material inti | 36 |
| Gambar 3.11 | Dudukan untuk pengujian getaran..... | 37 |
| Gambar 3.12 | Set up penelitian yang digunakan dalam pengujian | 38 |
| Gambar 3.13 | <i>Hammer</i> yang digunakan dalam pengujian | 38 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 3.14 | Proses set up ulang panel dan dudukan | 39 |
| Gambar 3.15 | Ilustrasi peletakan <i>hammer</i> dan <i>accelerometer</i> pada pengujia pengaruh set-up <i>Sandwich panel</i> | 40 |
| Gambar 3.16 | Ilustrasi posisi percobaan frekuensi natural dudukan..... | 41 |
| Gambar 3.17 | Ilustrasi pengambilan data pertama | 42 |
| Gambar 3.18 | Ilustrasi pengambilan data kedua | 42 |
| Gambar 3.19 | Bagan pengolahan data..... | 43 |
| Gambar 3.20 | contoh hasil pengujian getaran pada frekuensi domain dan sudut fasenya..... | 44 |
| Gambar 4.1 | Contoh Kurva Koherensi pada pengujian Hammer Tip | 48 |
| Gambar 4.2 | Perbandingan <i>frequency range hammer tip</i> | 50 |
| Gambar 4.3 | hasil eksitasi pada titik “D” | 53 |
| Gambar 4.4 | hasil sudut fase pada titik “D” | 53 |
| Gambar 4.5 | <i>Mode</i> getaran yang terjadi pada panel <i>mode</i> 1(kiri), <i>mode</i> 2(kanan) | 55 |
| Gambar 4.6 | Hasil frekuensi natural dengan metode analisa <i>model</i> pada <i>sandwich panel</i> utuh | 56 |
| Gambar 4.7 | Contoh hasil pengolahan data pada pengujian getaran..... | 58 |
| Gambar 4.8 | Grafik varifikasi Hasil pengujian <i>sandwich panel</i> utuh | 62 |
| Gambar 4.9 | Hasil frekuensi natural dengan metode analisa <i>model sandwich panel</i> cacat sebagian | 63 |
| Gambar 4.10 | Grafik verifikasi percobaan <i>sandwich panel</i> cacat sebagian..... | 69 |
| Gambar 4.11 | Hasil frekuensi natural dengan metode analisa <i>model sandwich panel</i> cacat penuh | 70 |
| Gambar 4.12 | Grafik verifikasi percobaan <i>sandwich panel</i> cacat utuh..... | 75 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|--|----|
| Tabel 2.1 | Hasil analisis tegangan oleh Brooking & Kennedy | 9 |
| Tabel 2.2 | Perbandingan berat oleh Brooking & Kennedy (2004)..... | 10 |
| Tabel 2.3 | Hasil perhitungan berat konstruksi kapal (Utomo, 2016) | 11 |
| Tabel 2.4 | Faktor material pada DNV | 13 |
| Tabel 2.5 | Tabel parameter ketebalan minimal | 14 |
| Tabel 3.1 | Perhitungan ketebalan <i>faceplate</i> (Utomo, 2016)..... | 30 |
| Tabel 4.1 | Perhitungan ketebalan <i>core</i> untuk <i>faceplate</i> 4mm | 47 |
| Tabel 4.2 | Perhitungan ketebalan <i>core</i> untuk <i>faceplate</i> 6mm | 47 |
| Tabel 4.3 | Hasil Pengujian Hammer Tip material plastik | 49 |
| Tabel 4.4 | Hasil Pengujian <i>Hammer Tip</i> material aluminium..... | 49 |
| Tabel 4.5 | Hasil pengujian pengulangan set-up <i>Sandwich panel</i> | 51 |
| Tabel 4.6 | Koherensi tiap titik pada pengujian frekuensi natural dudukan | 52 |
| Tabel 4.7 | Hasil identifikasi frekuensi natural pada setiap titi eksitasi | 54 |
| Tabel 4.8 | Tabel sudut fase pengujian frekuensi natural dudukan | 54 |
| Tabel 4.9 | Hasil <i>Modal Analysis</i> menggunakan Pemodelan pada <i>sandwich panel</i> utuh..... | 56 |
| Tabel 4.10 | Nilai koherensi dalam pengujian <i>Sandwich panel utuh</i> | 57 |
| Tabel 4.11 | Hasil pengujian getaran <i>sandwich panel</i> utuh untuk <i>faceplate</i> 4mm | 58 |
| Tabel 4.12 | Hasil pengujian getaran <i>sandwich panel</i> utuh untuk <i>faceplate</i> 6mm | 59 |
| Tabel 4.13 | Data <i>damping ratio sandwich panel</i> utuh tiap titik eksitasi | 60 |
| Tabel 4.14 | Perbandingan Analisa <i>Model</i> & Percobaan Experimen pada <i>sandwich</i> <i>panel</i> utuh..... | 61 |
| Tabel 4.15 | Hasil Analisa Pemodelan untuk <i>Sandwich panel</i> cacat sebagian..... | 63 |
| Tabel 4.16 | Nilai Koherensi pengujian <i>sandwich panel</i> cacat sebagian | 64 |
| Tabel 4.17 | Hasil pengujian getaran <i>sandwich panel</i> cacat sebagian untuk <i>faceplate</i> 4mm..... | 65 |
| Tabel 4.18 | Hasil pengujian getaran <i>sandwich panel</i> cacat sebagian untuk <i>faceplate</i> 6mm..... | 65 |

| | |
|---|----|
| Tabel 4.19 Data <i>damping ratio sandwich panel</i> cacat sebagian | 67 |
| Tabel 4.20 Perbandingan Hasil pengujian <i>sandwich panel</i> cacat sebagian | 68 |
| Tabel 4.21 Hasil analisis pemodelan <i>sandwich panel</i> cacat penuh..... | 70 |
| Tabel 4.22 Nilai Koherensi pengujian <i>sandwich panel</i> cacat penuh..... | 71 |
| Tabel 4.23 Hasil pengujian getaran <i>sandwich panel</i> cacat penuh untuk <i>faceplate</i> 4mm..... | 72 |
| Tabel 4.24 Hasil pengujian getaran <i>sandwich panel</i> cacat penuh untuk <i>faceplate</i> 6mm..... | 72 |
| Tabel 4.25 Data <i>damping ratio sandwich panel</i> cacat penuh..... | 73 |
| Tabel 4.26 Perbandingan Hasil pengujian <i>sandwich panel</i> cacat utuh | 74 |
| Tabel 4.27 Pengaruh Cacat sebagian terhadap Frekuensi Natural pada metode <i>pemodelan</i> | 76 |
| Tabel 4.28 Pengaruh Cacat penuh terhadap Frekuensi Natural pada metode <i>pemodelan</i> | 77 |
| Tabel 4.29 Nilai Koherensi keseluruhan percobaan getaran..... | 77 |
| Tabel 4.30 Pengaruh Cacat Material sebagian terhadap Frekuensi Natural pada Metode eksperimen | 78 |
| Tabel 4.31 Pengaruh Cacat Material utuh terhadap Frekuensi Natural pada Metode eksperimen | 78 |
| Tabel 4.32 Pengaruh Cacat Material terhadap <i>Damping ratio</i> | 79 |
| Tabel 4.33 Verifikasi hasil keseluruhan percobaan..... | 80 |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang.

Perkembangan teknologi yang sangat pesat menuntut desainer dan *engineer* untuk terus berinovasi dalam menghasilkan sesuatu yang baru dan mempunyai nilai tambah bagi kehidupan manusia. Tidak terkecuali sistem konstruksi pada kapal. Sekarang, banyak sekali terobosan-terobosan baru dalam teknologi material. Tentu saja tujuan utama adalah material yang lebih ringan, kuat, dan tahan lama.

Material pada kapal, pada umumnya adalah baja. Tetapi baja dirasa masih kurang efektif dalam segi berat dalam proses desain kapal. Penelitian terkini banyak yang mengarah kepada pengembangan material baru dalam aplikasi pada kapal. Salah satunya adalah *Sandwich panel*. *Sandwich panel* adalah material yang bentuknya berlapis, dengan material inti pada umumnya terbuat dari material ringan dan material *faceplate* berasal dari material yang kaku.

Telah banyak penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, mengenai pengaruh *Sandwich panel* pada kontribusi LWT kapal. Diantaranya dilakukan oleh *Momcilovic & Motok* (2009) dan *Brooking & Kennedy* (2004). Rata-rata pada kedua penelitian itu reduksi berat pada *Sandwich panel* dapat mencapai 15% dari berat kapal itu sendiri.



Gambar 1.1 contoh material *Sandwich panel*

Saat material *Sandwich panel* terpasang pada kapal, material tidak akan lepas dari gaya eksternal. Gaya inilah yang akan memicu timbulnya cacat. Cacat kelamaan akan menjalar dan dapat mengakibatkan kegagalan dalam sistim konstruksi. Pada penelitian lain, *Jweeg dkk* (2012) meneliti tentang perubahan natural frekuensi yang terjadi pada suatu material jika pada material tersebut terdapat *crack*. Hanya pada penelitan tersebut, material yang digunakan menggunakan komposit *fiber*, dan variabel retak yang diteliti berdasarkan sudut kemuculan dari retak tetrsebut . Pada penelitian ini hasil yang didapatkan adalah terjadi tren kenaikan frekuensi natural seiring bertambahnya sudut dari *crack* tersebut.

Oleh karena itu, akan dilakukan sebuah penelitian untuk mengidentifikasi suatu material *Sandwich panel* sebagai salah satu jenis material maju dalam dunia perkapalan yang akan membahas tentang pengaruh cacat pada material tersebut melalui eksperimen yaitu pengujian getaran dan pemodelan *modal analysis*

1.2. Rumusan masalah.

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya, maka pokok permasalahan yang akan dipecahkan adalah:

1. Identifikasi frekuensi natural material *Sandwich panel* dengan metode eksperimental dan pemodelan
2. Identifikasi pengaruh cacat pada material inti *Sandwich panel* dibandingkan dengan material utuh menggunakan pengujian getaran

1.3. Maksud dan tujuan.

Tujuan utama dalam penelitian ini adalah:

1. Memperoleh data frekuensi natural dari material *Sandwich panel* melalui metode pengujian ekperimen maupun pemodelan
2. Identifikasi pengaruh cacat pada material inti *Sandwich panel* menggunakan pengujian getaran dan pemodelan

1.4. Manfaat.

Manfaat yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil penelitian / studi numeric dan eksperimen berupa frekuensi natural material *Sandwich panel* utuh dan saat terdapat cacat pada *core* nya.
2. Sebagai referensi pengembangan pendeteksian akan cacat pada material inti *Sandwich panel*.

1.5. Hipotesis.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, dalam penelitian ini ditarik suatu hipotesa, dimana pengujian getaran pada material *sandwich panel* pada material yang cacat akan memberikan perubahan frekuensi natural sesuai dengan *mode* getaran dan dimensi cacat yang terjadi pada material

1.6. Batasan Masalah.

Untuk mengefektifkan proses penelitian, maka diterapkan beberapa batasan-batasan masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Peraturan penggunaan *Sandwich panel* mengacu pada peraturan *Det Norse Veritas*.
2. Material *Sandwich panel* yang digunakan merupakan baja untuk *faceplate* nya dan *synthetic resin* untuk material intinya
3. Material *Sandwich panel* yang diuji merupakan *pemodelan* dari aplikasi material SPS di kapal pada berbagai tempat.
4. Kerusakan yang diteliti pada penelitian ini akan diberikan pada material inti *Sandwich panel* berbentuk cacat dengan variasi panjang cacat.
5. Pada penelitian ini tidak dilakukan kajian mengenai umur lelah material *Sandwich panel* tersebut.
6. Pada penelitian ini tidak dilakukan kajian secara ekonomis pada penggunaan material *Sandwich panel* pada kapal.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

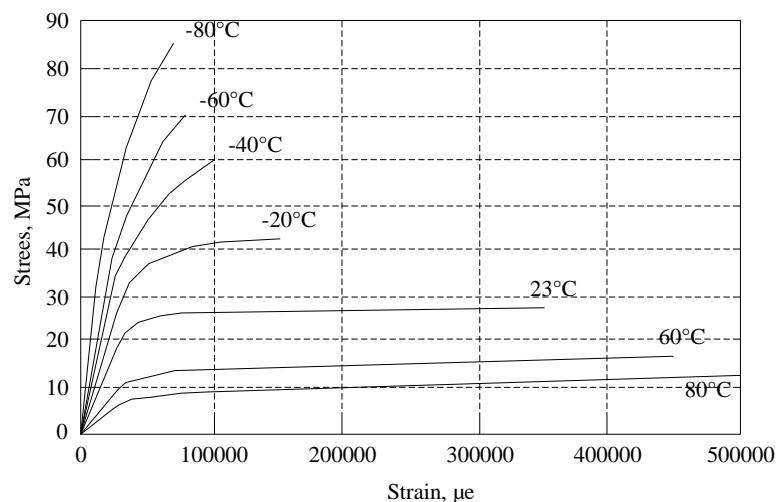
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Material *Sandwich panel System*

Sandwich Plate System (SPS) merupakan material ringan yang merupakan struktur dua pelat logam yang dipisahkan oleh material inti elastomer. Plat, biasanya terbuat dari baja, digabungkan sebagai batas luar dari material di kedua sisi dan kemudian disatukan oleh material *polyurethane*. (Momcilovic & Motok (2009)

Moderenisasi penggunaan SPS ini telah dikembangkan selama 10 tahun, pada awalnya dikembangkan untuk memberikan ketahanan *impact* pada pelat untuk struktur *offshore* yang beroperasi di daerah es *Beaufort Canada*. *Intelligent Engineering. Ltd* (IE) merupakan pemilik hak paten pada produksi material SPS ini bersama dengan mitra industrinya *Elastogran GmbH*, anggota *BASF Group*.



Gambar 2.1 Grafik hubungan *stress – strain* material elastomer

Grafik yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 merupakan hubungan antara tegangan dan regangan material *Polyurethane elastomer* dari berbagai kondisi suhu, berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan *Brooking & Kennedy*.

Selain dari pengujian untuk karakteristik mekanikal properties. Pengujian lain juga dilakukan pada SPS, yang meliputi :

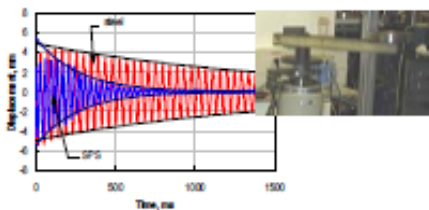
1. Ketahanan *fatigue* (*S-N curves*) pada ikatan antar bidang pelat dan sambungan las untuk penggabungan antara setiap panel SPS.
2. Ketahanan pada air laut dan ketahanan kimia pada elastomer harus dapat bertahan selama proses pengoperasian material.
3. Ketahanan terhadap getaran dan peredaman terhadap kebisingan. SPS memberikan ketahanan yang jauh lebih baik dari penggunaan baja.
4. Ketahanan terhadap balistik, diuji dengan dimensi peluru 7,62 mm, hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa kurva balistik untuk SPS berada di bawah dari baja, yang menandakan SPS lebih tahan terhadap ketahanan balistik dibanding dengan material baja.



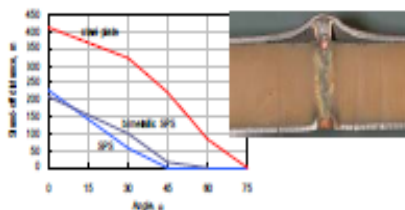
(a) Pengujian ketahanan fatigue pada sambungan SPS



(b) Pengujian ketahanan air laut dan zat kimia



(c) Pengujian getaran dan grafik hasil uji dari SPS dan baja



(d) Pengujian ketahanan balistik dan kurva balistik untuk SPS dan baja

Gambar 2.2 Pengujian ketahanan material SPS

Gambar di atas menunjukkan beberapa pengujian ketahanan yang dilakukan pada material SPS

(a) pengujian ketahanan *fatigue* yang dilakukan sambungan las antara pelat material SPS

(b) pengujian ketahanan material terhadap pengaruh air laut dan zat kimia, dengan mencelupkan potongan material SPS pada air laut dan zat kimia

(c) pengujian ketahanan getaran yang menunjukkan besar resonansi getaran material SPS

(d) pengujian ketahanan pada balistik dengan kaliber 7,62 mm,

Selain dari pengujian tersebut *Intellegent Engineering* (IE) juga melakukan pengujian terhadap proteksi perlindungan pada lingkungan, dengan melakukan pengujian ketahanan terhadap ledakan, uji *impact* dan ketahanan terhadap bahaya kebakaran, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini.

(Intellegent Engineering, 2016)



(a) Pengujian ketahanan kebakaran



(b) Pengujian ketahanan ledakan



(c) Pengujian impact pada baja



(d) Pengujian impact pada SPS

Gambar 2.3 Pengujian ketahanan material SPS

Gambar 2.3 menunjukkan pengujian ketahanan material SPS untuk pengaruh lingkungan

(a) pengujian ketahanan terhadap bahaya kebakaran, dari hasil pengujian tersebut perilaku elastomer dan pelat logam pada pemberian temperatur tinggi berfungsi dengan baik. IMO (*International Maritime Organization*) menilai pada struktur SPS dengan ukuran (SPS 4-25-4) mampu bertahan pada kebakaran selama 60 menit

(b) pengujian ketahanan terhadap ledakan, menunjukkan hasil SPS lebih baik dari baja sehingga tepat digunakan untuk keperluan militer dan perlindungan kontaminasi air laut dari kepecahan lambung kapal,

(c) pengujian *impact* pada material baja

(d) pengujian *impact* pada SPS, memberikan hasil yang jauh lebih baik dari material baja.

2.2. Material SPS pada Kapal

Penggunaan SPS di kapal telah banyak diterapkan. Berbagai macam riset juga telah dilakukan, seperti yang dilakukan oleh *Brooking & Kennedy* tentang pengaruh SPS terhadap reduksi berat kapal, potensi penggunaan SPS pada kapal tidak lepas dari beberapa karakteristik dari SPS terhadap *Shipbuilding*, diantaranya:

- Struktur yang sederhana dan mudah untuk dibangun
- Perawatan yang dibutuhkan minimal
- Menambah ketahanan korosi
- Ketahanan terhadap retak dan masalah struktural lainnya

Selain itu, penggunaan SPS juga telah menjadi pilihan utama beberapa perusahaan operator kapal internasional karena kelebihan-kelebihan diatas.

(*Ramakrishnan dan Kumar, 2016*)

Untuk penelitian terhadap aplikasi SPS pada kapal *Brooking & Kennedy* (2004), melakukan desain studi penerapan SPS pada kapal *tanker*, dengan LOA = 144,0 m ; B = 21,50 m pada DWT = 14.000 ton Dengan menerapkan metode FE (*Finite element*), analisa yang dilakukan menunjukkan tegangan pada konstruksi yang menggunakan SPS memberikan nilai yang lebih kecil dari kriteria tegangan yang diizinkan.

Tabel 2.1 Hasil analisis tegangan oleh Brooking & Kennedy.

| Structural Mamber | Stress Quantity | Allowable Stress Criteria | Stress, (Mpa) | |
|-------------------------------|-----------------|---------------------------|----------------------|-----|
| | | | All-Steel Scantlings | SPS |
| Tank Top Plating | σ_x | 108 | 88 | 106 |
| | σ_y | 147 | 128 | 118 |
| | σ_e | 177 | 113 | 110 |
| Tank Top Stiffeners | σ_x | 100 | 87 | - |
| Outer Bottom Plating | σ_x | 108 | 89 | 102 |
| | σ_y | 147 | 124 | 119 |
| | σ_e | 177 | 115 | 111 |
| Outer Bottom Stiffeners | σ_x | 100 | 103 | - |
| Inner Side Shell Plating | σ_x | 108 | 136 | 86 |
| | σ_y | 147 | 84 | 112 |
| | σ_e | 177 | 123 | 102 |
| Outer Side Shell Plating | σ_x | 108 | 86 | 88 |
| | σ_y | 147 | 59 | 91 |
| | σ_e | 177 | 78 | 84 |
| Main Deck Plating | σ_x | 108 | - | 104 |
| | σ_y | 147 | - | 31 |
| Longitudinal Bulkhead Plating | σ_x | 108 | - | 109 |
| | σ_y | 147 | - | 138 |
| | σ_e | 177 | - | 131 |

Pada tabel diatas dapat dilihat, walaupun material SPS rata-rata memiliki stress yang lebih besar terhadap baja biasa, material SPS tetap memenuhi persyaratan yang diberikan. Ini membuktikan bahwa material SPS dapat diaplikasi kan ke dalam struktur di bidang perkapalan.

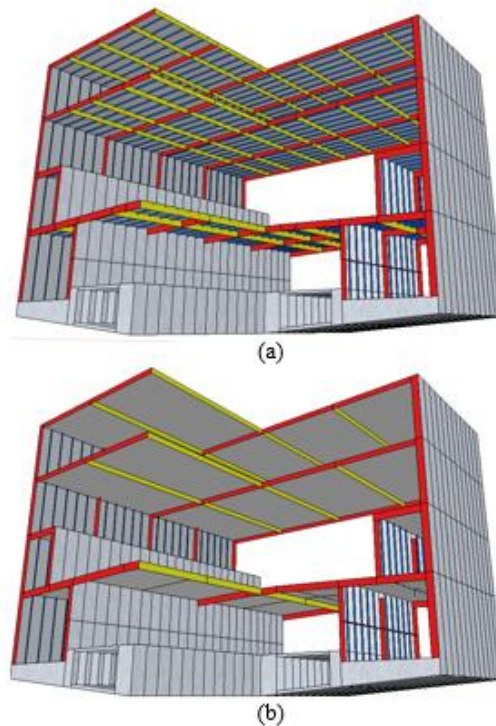
Kemudian, *Brooking & Kennedy* (2004) juga melakukan perbandingan berat antara material SPS dengan material baja biasa. Hasil penelitian dapat dilihat pada tabel dibawah

Tabel 2.2 Perbandingan berat oleh *Brooking & Kennedy* (2004)

| Structure | Weight, tonnes | | Difference | |
|-----------------------|-------------------------------|----------------|------------|-------|
| | Conventional Steel Scantlings | SPS Scantlings | tonnes | % |
| Double Bottom | 133,4 | 116,8 | -16,6 | -12,4 |
| Side Shell | 102,1 | 109,9 | +7,8 | +7,6 |
| Longitudinal Bulkhead | 24,0 | 22,4 | -1,6 | -6,6 |
| Main Deck | 50,3 | 52,0 | +1,7 | +3,4 |
| Totals | 309,8 | 301,1 | 8,7 | -2,8 |

Dapat dilihat pada tabel diatas, walaupun terdapat perbedaan selisih diberbagai aplikasi SPS pada konstruksi kapal, tetapi secara menyeluruh perbandingan berat SPS dan material baja biasa menurun sebanyak 2,8%.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh *Utomo*, (2016) dilakukan analisa perubahan berat konstruksi pada kapal *ferry roro* di bagian *parallel middle body*. Dengan diaplikasikannya *sandwich panel* pada kapal, bentuk konstruksi kapal mengalami penyederhanaan. Penyederhanaan yang dimaksud adalah dihilangkannya *stiffner* dari desain kapal tersebut. Namun, perubahan ini tidak mengurangi kekuatan dari struktur tersebut.



Gambar 2.4. (a) Konstruksi kapal pelat baja konvensional, (b) Konstruksi kapal *sandwich panel* (Utomo, 2016)

Efek lain dari pemasangan *sandwich panel* pada konstruksi kapal, yaitu dapat berkurangnya berat LWT dari kapal tersebut. Total berat yang dapat direduksi dari penerapan *sandwich panel* ini mencapai 13,08% dibandingkan dengan baja biasa. Pengurangan beban ini bisa berakibat turunnya *draft* dan bertambahnya muatan tanpa harus mengorbankan *freeboard*.

Tabel 2.3. Hasil perhitungan berat konstruksi kapal (Utomo, 2016)

| Bagian block | Berat konstruksi (Ton) | | (%) |
|------------------------------|------------------------|-----------------------|--------|
| | Steel | <i>Sandwich panel</i> | |
| Block. 01 (No. Gading 63-75) | 89,11 | 88,66 | -0,50 |
| Block. 02 (No. Gading 51-62) | 83,89 | 82,29 | -1,94 |
| Block. 03 (No. Gading 39-50) | 73,35 | 71,08 | -3,20 |
| Block. 04 (No. Gading 27-38) | 73,35 | 71,08 | -3,20 |
| Block. 05 (No. Gading 16-26) | 67,64 | 64,88 | -4,25 |
| Total | 387,34 | 377,99 | -13,08 |

Beberapa penggunaan lain SPS pada kapal baik dalam sistem konstruksinya maupun bukan yang telah di aplikasikan *Intillegent Engineering* (IE) dapat dilihat pada gambar berikut



(a) modifikasi kapal pada perairan es

(b) *citadel protection*



(c) penggunaan SPS pada *passenger ship*

Gambar 2.5 Penggunaan SPS pada kapal (sumber: IE- *project portofolio*)

Gambar diatas menunjukkan penggunaan SPS pada kapal yang dilakukan oleh IE dalam berbagai proyeknya

- (a) gambar diatas adalah gambar *ice breaker research vessel* milik *P&O Maritime Service Pty Ltd* yang dimodifikasi tangki bahan bakarnya dengan menggantinya menjadi material SPS. Penggantian ini untuk meminimalisir kebocoran dari tangki bahan bakar akibat beban *impact* yang dapat menyebabkan bercampurnya *fuel oil* dan *ballast water*.
- (b) Gambar itu menunjukkan pemasangan material SPS di depan pintu akses kapal. Ini merupakan salah satu langkah keamanan kapal saat terjadi

pembajakan di laut. SPS ini akan dipasang secara ditumpuk hingga membentuk dinding yang mampu menahan beban impact maupun balistik.

- (c) Gambar tersebut adalah kapal penumpang yang dibangun di *Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering* dan mengaplikasikan material SPS pada deck 3 dan deck 6 nya sebagai peredam *noise* dan getaran untuk kenyamanan penumpang. (*Intellegent Engineering, 2016*)

2.3. DNV Rules tentang *Sandwich panel*

DNV membagi kalkulasi ketebalan menjadi 2 bagian. Bagian *face plate* yang dilambangkan dengan t_1 (top plate) dan t_2 (bottom plate) dan ketebalan *core* dengan t_c . Berikut ini adalah formula dalam menentukan tebal material sandwich

$$t_{1,2_min} = 0,5 \left(t_0 + \frac{k \cdot L}{f_1^{0,5}} \right) \quad (2.1)$$

L = Panjang kapal (m)

f_1 = Faktor Material

t_0, k = Parameter ketebalan minimal

Tabel 2.4. Faktor material pada DNV

| Jenis baja | Keterangan | f_1 |
|------------|-------------------------|-------|
| NV-NS | $\sigma_y \geq 235$ MPa | 1,00 |
| NV-27 | $\sigma_y \geq 265$ MPa | 1,08 |
| NV-32 | $\sigma_y \geq 315$ MPa | 1,28 |
| NV-36 | $\sigma_y \geq 355$ MPa | 1,39 |
| NV-40 | $\sigma_y \geq 390$ MPa | 1,47 |

Tabel 2.5. Tabel parameter ketebalan minimal

| Bagian Konstruksi | t_0 | k |
|--|-------------------------|-----------------------|
| <i>Bottom / Inner bottom / Side</i> | 5,0 | 0,04 |
| <i>Weather deck</i> | 5,5 | 0,02 |
| <i>Bulkhead</i> | 5,0 | 0,03 |
| <i>Tween decks & superstructure ends and sides</i> | 5,0 | 0,01 |
| <i>Superstructure decks</i> | 5,0 | 0 |

Setelah ketebalan minimal didapat, DNV mensyaratkan dalam penambahan ketebalan berdasarkan factor korosi. Berikut adalah formula yang di syaratkan:

$$t_{1,2_gross_required} = t_{1,2_min} + t_k \quad (2.2)$$

$t_{1,2_gross_required}$ = Ketebalan minimal yang digunakan

$t_{1,2_min}$ = Ketebalan minimal mula-mula

t_k = Ketebalan tambahan sebagai factor korosi

Persyaratan ketebalan *core* didapat menggunakan system try and error. Sehingga desainer bisa memberikan ketebalan yang dibutuhkan kapal secara optimum. Berikut adalah formula yang berkaitan dengan penentuan ketebalan *core* material.

$$R = 0,01A_R 0,1 \left[\frac{b^2}{d(t_1 + t_2)} + 11,7 \left(\frac{bt_c}{d^2} \right)^{1,3} \right] kP_{eq,R} \leq 1 \quad (2.3)$$

R = nilai indeks ketebalan *core material*, $R \leq 1$.

$A_R = \left(\frac{a}{b} \right)^{0,65}$

$P_{eq,R} = 0,0017 (Z_{rule}/l^2)$ (MPa)

l = panjang panel

Z_{rule} = ekivalen modulus penampang *midship*

t_c = pilihan ketebalan lapisan inti

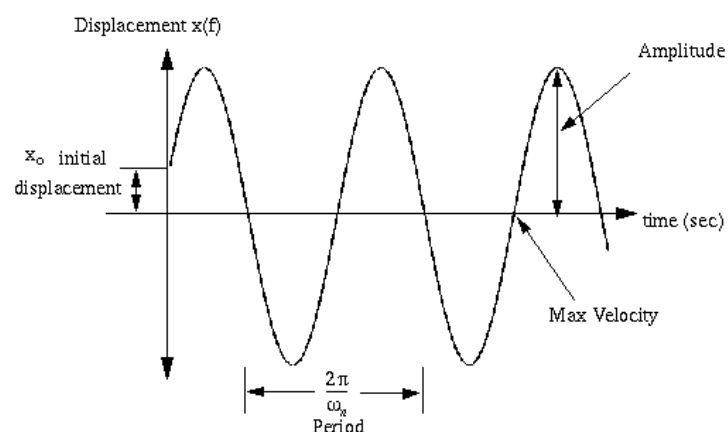
a = panjang panel pada tepi terpanjang

- b = lebar panel pada tepi terpendek
 d = $t_c + (t_1 + t_2) / 2$, (mm)
 t_1, t_2 = ketebalan panel lapisan atas dan bawah
 k = faktor kekuatan baja.

2.3. Getaran

Getaran adalah sebuah fenomena baik alami maupun mekanis dimana osilasi terjadi diantara titik keseimbangan. Osilasi adalah peristiwa berayunnya suatu benda untuk mencapai titik keseimbangannya. Pada banyak contoh kasus, rata-rata getaran merupakan sesuatu yang tidak diinginkan, membuang-buang energi, dan merupakan penghasil suara yang tidak diinginkan. Contoh misalnya adalah gempa bumi, getaran pada mesin atau bangunan struktural. Tetapi getaran juga dapat menjadi berguna di berbagai tempat, seperti getaran pada harmonika, *handphone*, komponen *loudspeaker* dan lain-lain.

Frekuensi natural adalah saat dimana sebuah sistem mengalami *displacement* yang sangat besar akibat getaran walaupun gaya yang bekerja sangat kecil. Setiap sistem mempunyai frekuensi naturalnya masing-masing. Saat sistem tersebut bergetar pada frekuensi naturalnya. Itulah yang disebut sebagai resonansi. (Goldman, S. 1999)



Gambar 2.6. Undamped vibration (sumber <http://www.mfg.mtu.edu>)

Pada gambar diatas dapat dipahami bahwa waktu yang diperlukan untuk satu *cycle* disebut sebagai periode dengan satuan detik/*cycle*. Apabila $t = T$ maka, $x(t) = A$. Dengan formula :

$$x(t) = A \cos \sqrt{k/m} T$$

dimana A = Amplitudo

sehingga persamaan akan menjadi

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m}}} \quad (2.4)$$

Frekuensi adalah banyaknya *cycle* yang terjadi dalam satu detik, atau kebalikan dari periode, yaitu:

$f = \frac{1}{T}$ *cycle*/detik, atau biasa disebut *Hertz*, disingkat Hz. Dengan demikian,

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.5)$$

dengan demikian, dapat ditulis juga

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.6)$$

dimana ω merupakan frekuensi natural. (*Thompson W.T. 2003*)

Benda yang mengalami getaran lama kelamaan akan berusaha kembali ke titik kesimbangannya. Secara perlahan benda akan berkurang amplitudonya hingga displacement benda tersebut menjadi nol. Hal yang mempengaruhi pengurangan displacement ini adalah redaman. Di dalam redaman, terdapat hal yang dinamakan *damping ratio*. *Damping ratio* adalah parameter yang tidak memiliki dimensi sebagai perbandingan antara damping yang terjadi dan critical damping yang diharapkan pada benda tersebut. Jadi *damping ratio* dapat dituliskan sebagai:

$$\zeta = \frac{C}{C_c} \quad (2.7)$$

ζ = *damping ratio*
C = actual damping
Cc = damping kritis.

2.4. *Modal Analysis*

Pada dua dekade terakhir modal analisis telah menjadi suatu teknologi untuk menentukan, memperbaiki, dan mengoptimasi karakteristik dinamis dari sebuah struktur teknik. Tidak hanya dikenal pada bidang mekanikal dan aeronautika saja, tetapi *modal analysis* sudah diaplikasikan pada beberapa bidang seperti sipil dan struktur bangunan, masalah biomekanikal, struktur luar angkasa, instrument akustikal, transportasi, dan pembangkit nuklir.

Seiring dengan semakin dibutuhkannya informasi tentang perilaku dinamis dari sebuah struktur teknis, proses desain yang dibutuhkan juga harus berbeda. Komputer *modelling fenite elemen* saat ini telah menyediakan *tools* yang mendukung terjadinya proses analisa dinamis. Tetapi, *modelling* dengan komputer tidak bias menentukan tentang perilaku dinamis material secara keseluruhan. Ini karena ada beberapa karakteristik material yang tidak bias dimasukkan ke dalam program seperti *damping* dan *nonlinearity* material.

Modal analysis adalah proses dalam menentukan karakteristik material yang telah ada pada material tersebut dalam bentuk frekuensi natural, faktor *damping*, *mode* getaran dan menggunakannya untuk perhitungan matematis lebih lanjut. *Mode* natural dari struktur tersebut telah ada dalam material dan sepenuhnya ditentukan berdasarkan karakteristik fisiknya (*massa*, kekakuan, *damping*). Masing-masing *mode* juga memiliki natural frekuensinya masing-masing.

Modal analysis dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang, diantaranya adalah:

a) *Troubleshooting*

Troubleshooting menggunakan modal analisis secara eksperimen dapat dilakukan pada struktur dinamis yang diteliti. Metode ini populer dalam aplikasi desain sebuah struktur karena kemudahannya.

Hasil yang didapatkan tentu saja natural frekuensi, factor *damping*, dan bentuk *mode* getaran

b) Metode validasi

Banyak aplikasi dari struktur dinamis bergantung pada *model* matematisnya yang akurat. *Model-model* tersebut bias dibuat menggunakan *model* elemen hingga (FEM). Tetapi, sesungguhnya sangat tidak masuk akal jika metode FEM ini merepresentasikan struktur sesungguhnya. Ini karena banyak factor yang bias berpengaruh pada material asli dibandingkan dengan kondisi pada *model*. Oleh karena itu sebuah analisa eksperimen dapat digunakan untuk “membenarkan” sebuah FE *model*.

c) Modifikasi structural

Perubahan structural dapat berpengaruh besar terhadap *massa*, kekakuan atau peredaman sebuah struktur dinamis. Penggunaan dari *modal analysis* jika dilakukan dalam struktur tersebut akan dapat digunakan dan di manfaatkan sesuai dengan tujuan desain tersebut.

d) Deteksi kerusakan struktur

Pendeteksian kerusakan struktur yang tidak bias dilihat sudah menjadi prioritas dalam bidang industry. Hal ini sudah banyak dilakukan pada bidang penerbangan dan luar angkasa. Sekarang, aplikasi ini banyak dilakukan pada bidang konstruksi sipil, contohnya jembatan. Praktek umum dilakukan dengan menguji sebuah benda saat dalam kondisi sempurna atau awal. Kemudian setelah kerusakan struktur terjadi pengujian kembali dilakukan untuk menunjukkan perubahan data dari modal analisis. (He Jimin, 2001)

2.4.1.Referensi Peneltian Modal Analysis pada Material Sandwich

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang menjadi referensi dalam penelitian kali ini. *Kumar Jha*, (2007) melakukan penelitian tentang material *sandwich* yang diuji menggunakan teori *modal analysis*. Pada penelitian itu, *faceplate* yang digunakan adalah aluminium dengan *core* juga berbahan aluminium namun berbentuk konstruksi *honeycomb*. Penelitian dilakukan dengan variasi

kondisi jepit dari material dan dilakukan dengan tiga metode, *experimental*, *analytical*, dan *software analysis*. Dengan maksimal *error* yang di dapat dari penelitian tersebut hanya 9%.

| Boundary Conditions | Mode Number | FEA(ANSYS) Results(Hz) | Experimental Results(Hz) | Analytical Results(Hz) | Error** (%) |
|---------------------|-------------|------------------------|--------------------------|------------------------|-------------|
| c-c-c-c | 1 | 147.63 | | 148.17 | |
| | 2 | 242.63 | 240 | 243.21 | +1.08 |
| | 3 | 350.86 | 373 | 352.62 | -9.12 |
| | 4 | 400.26 | 414 | 402.56 | -3.43 |
| | 5 | 438.68 | 449 | 443.92 | -2.35 |
| s-s-s-s | 1 | 79.02 | | 79.05 | |
| | 2 | 161.37 | 154 | 161.40 | 4.56 |
| | 3 | 233.81 | 229 | 233.87 | 2.05 |
| | 4 | 298.52 | 287 | 298.63 | 3.85 |
| | 5 | 316.08 | 302 | 316.23 | 4.45 |

Gambar 2.7. Screenshot penelitian *Sandwich panel* (Kumar Jha, 2007)

Jovanovic, (2012) dan *Waily*, (2013) melakukan eksperimen mengenai pendeteksian kerusakan pada material menggunakan metode *modal analysis*. Pada penelitian tersebut, ditemukan tren yang sama. Yaitu semakin besar cacat yang terdapat pada sebuah material, frekuensi natural yang dimiliki benda tersebut akan semakin turun. Lebih lanjut *Waily*, (2013) melakukan verifikasi menggunakan *software* ANSYS, dan didapatkan hasil *error* yang tidak terlampau jauh dengan hasil penelitian eksperimen.

2.5. *Experimental Modal Analysis*

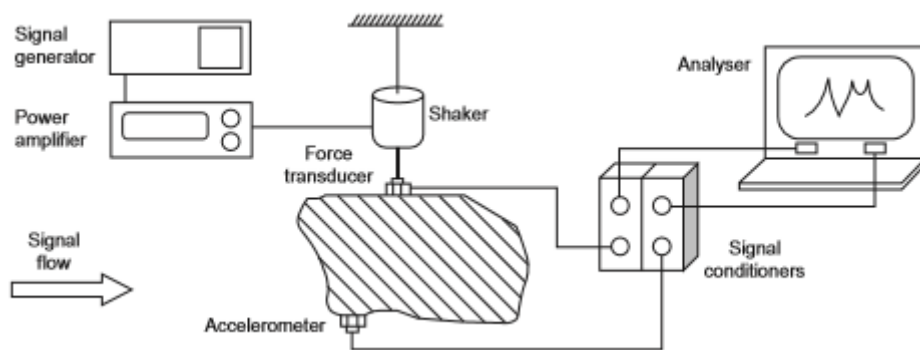
Pengujian modal analisis secara eksperimen bertujuan untuk mendapatkan data *frequency response function* (FRF) dari sebuah struktur. Metode ini digunakan untuk meneksitasi sebuah struktur dengan input gaya tertentu dan diukur baik gaya maupun respon dari struktur tersebut. Sebagai hasilnya, kita mendapat data dari FRF yang bias digunakan lebih lanjut untuk berbagai kepentingan teknis. (He Jimin, 2001)

Pada pengujian laboratorium, ada pengaturan yang lazim di pakai. Biasanya pengujian ini terdiri dari tiga komponen. Kita ambil contoh *single input* dan *single output*. Pada bagian pertama berfungsi untuk menciptakan gaya ekstiasi dan diaplikasikan pada test struktur. Bagian kedua digunakan untuk mengukur dan

mendapatkan data tentang respon. Dan bagian ketiga berfungsi untuk memproses signal yang dihasilkan bagian satu dan dua untuk menghasilkan data atau dalam arti lain, system dari pengujian itu sendiri.

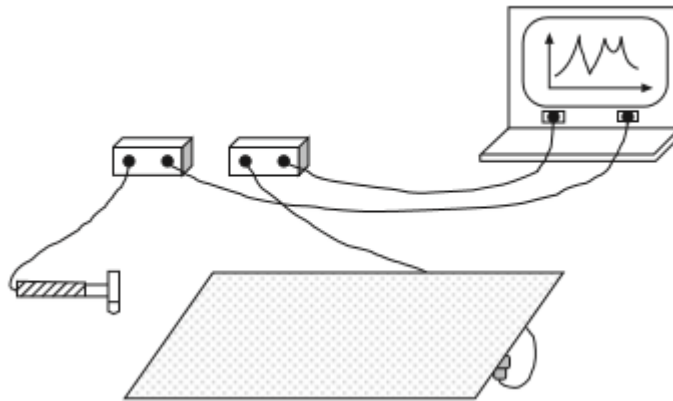
Sebagaimana telah disebutkan, bagian pertama berfungsi sebagai mekanisme ekstasi yang digunakan sebagai sebuah gaya untuk memberikan *amplitude* dan frekuensi tertentu kepada struktur. Ada beberapa macam jenis peralatan ekstitasi yang bias digunakan dalam percobaan. Yang paling lazim digunakan adalah *shaker* dan *hammer*.

Elektromagnetik *shaker* atau bias disebut elektrodinamis *shaker* adalah yang jenis yang paling sering digunakan pada modal testing. Peralatan ini terdiri dari magnet dan blok dank oil yang bergerak di medan magnet. Saat arus listrik mengalir pada kumparan pada *shaker*, *shaker* akan membrikan gaya yang stabil. Elektromagnetik *shaker* biasa digunakan untuk frekuensi dan amplituod yang tinggi. Sedangkan untuk frekuensi rendah elektrohidrolis biasa digunakan.



Gambar 2.8. Set up penelitian getaran dengan *shaker test*

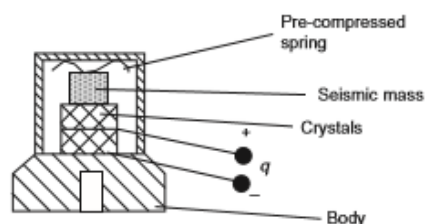
Hammer juga termasuk peralatan yang bisa digunakan pada pengujian ini. Tentu saja tidak sembarang *hammer*. *Hammer* ini terdiri dari ebberapa bagian, ujung *hammer*, *force transducer*, *balancing mass*, dan handel. Ujung *hammer* bisa diganti-ganti sesuai dengan kekerasannya. Material yang biasa digunakan adalah karet, plastic, dan metal. Kekerasan dari ujung *hammer*, berhubungan langsung dengan jangkauan frekuensi yang ingin diteliti. Untuk ujung yang lebih keras, kita bisa mendapatkan gaya yang bisa menjangkau hingga frekuensi yang lebih tinggi.



Gambar 2.9. Set up penelitian getaran dengan *hammer test*

Peralatan dengan jenis *hammer*, termasuk dalam jenis eksitasi secara *impact*. Eksitasi jenis ini adalah jenis yang paling mudah digunakan dan di aplikasikan. Selain itu, pengujian ini sangat *portable* karena alat yang digunakan tidak lah rumit dan besar. Kerana pada pengujian ini tidak terdapat kontak fisik antara *hammer* dan struktur, jenis eksitasi *hammer* ini bisa menghindarkan peneliti dari masalah interaksi data antara keduanya. Kekurangan dari jenis pengujian ini adalah, kesulitan peneliti dalam pengontrolan gaya input yang digunakan. Ini bisa berpengaruh dalam pemrosesan signal dalam perhitungan oleh *analyser*. Selain itu, terdapat beberapa material yang terlalu rapuh untuk diuji menggunakan metode ini.

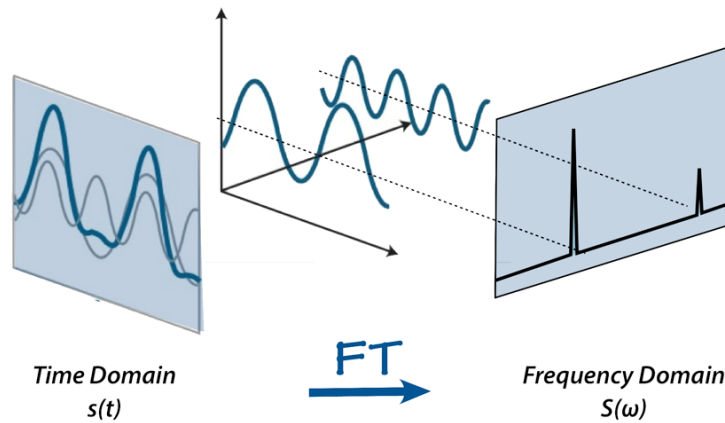
Peralatan lain yang berpengaruh pada pengujian ini adalah *accelerometer*. Ini berfungsi untuk mengukur percepatan yang terjadi pada material dan *output signal* dalam bentuk voltase. Sinyal inilah yang kemudian ditransfer menuju *analyser*. *Accelerometer* tidak bisa memproses data tentang kaarkteristik material, semisal *linearity*, hanya dua aspek yang bisa diproses datanya, yaitu *frekuensi* dan *amplitudo*. Jenis *accelerometer* yang paling banyak digunakan adalah *piezoelectric*. (He Jimin, 2001)



Gambar 2.10. Penampang *accelerometer* dengan *piezoelectric*

2.6. *Fourier Transform*

Fourier transform sudah menjadi hal yang sangat dasar dalam modal analysis. Banyak peneliti percaya bahwa *Fourier Transform* adalah landasan dari *modal analysis* itu sendiri. Tanpa itu, *modal analysis* hanya akan tetap menjadi konsumsi akademik saja.()



Gambar 2.11. Ilustrasi fungsi dari *Fourier Transform*

Salah satu fungsi utama adalah mengubah spectrum hasil pengujian getaran dari *time domain* menjadi frekuensi domain (dan sebaliknya). Data yang didapat merupakan sebuah data yang sama, hanya saja penyajiannya yang berbeda. Berikut adalah formula dari *Fourier Transform*:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i\omega t} dt \quad (2.8)$$

$X(f)$ = fungsi spectrum pada frekuensi domain

$X(t)$ = fungsi spectrum pada *time domain*

i = $\sqrt{-1}$

ω = frekuensi (Hz)

t = waktu (sec)

Sementara itu, *fourier* juga bisa berfungsi sebagai pengubah data dari time domain menjadi *frequency domain*. Formula ini lazim disebut *Inverse Fourier Transform*. Formulanya adalah:

$$X(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(f)e^{-i\omega t} df \quad (2.9)$$

2.7. *Frequency Response Function* pada *Frequency Domain*

Modal parameter (*frekuensi natural*, *damping factor*, dan *modal constant*) didapat melalui data vibrasi dari *modal analysis*. Terdapat beberapa metode dalam mengetahui nilai ketiga parameter tersebut.

- a) Estimasi Frekuensi Natural. Mengestimasi frekuensi natural pada frequency domain menjadi hal yang rancu. Karena kita tidak tahu berapa *mode* atau bentuk getaran yang ada pada spectrum hasil penelitian. Oleh karena itu, pada beberapa penelitian, tambahan bantuan seperti *software* lainnya terkadang dibutuhkan dalam proses estimasi. Frekuensi natural dari *mode* ke-*r*, dipilih berdasarkan nilai tertinggi dari amplitud pada frekuensi sekitar *mode* tersebut.

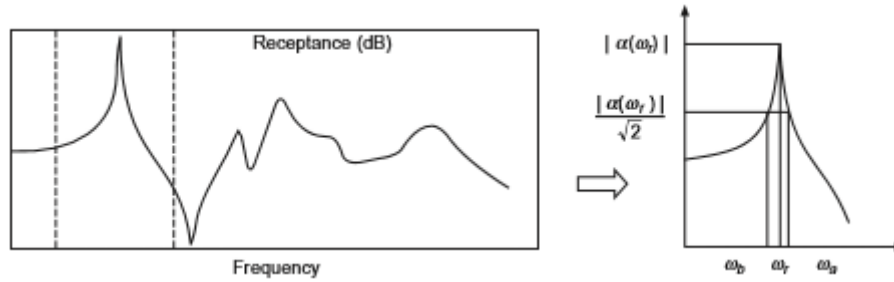
$$|\alpha_r(\omega)|_{\max} = \omega_r = \omega_{\text{peak}} \quad (2.10)$$

α_r = amplitud pada *mode* ke-*r*

ω_r = estimasi frekuensi natural pada *mode* ke-*r*

- b) Estimasi *damping*/redaman. Untuk mengestimasi redaman, lokasi dari ω_a dan ω_b harus ditentukan terlebih dahulu untuk setiap sisi dari puncak *spectrum* yang ingin diidentifikasi. Posisinya adalah sebuah titik dengan *amplitude* $\frac{\alpha_{\max}}{\sqrt{2}}$. Kemudian *damping ratio* dapat diestimasi menggunakan formula sebagai berikut:

$$\zeta_r = \frac{\omega_b^2 - \omega_a^2}{4\omega_r^2} \simeq \frac{\omega_b - \omega_a}{2\omega_r} \quad (2.11)$$



Gambar 2.12. Ilustrasi estimasi *damping*

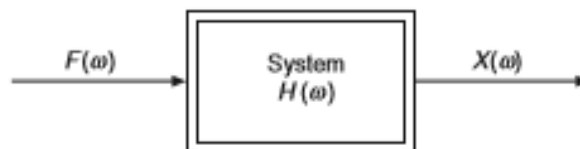
- c) Estimasi *modal constant*/kekakuan material. Kekakuan material bisa di dapat dari formula sebagai berikut.

$$A_r = 2 \alpha_{max} \zeta_r \omega_r^2 \quad (2.12)$$

2.8. Noise Effect

Dalam semua percobaan, *noise* akan selalu muncul pada proses baik input maupun *output*. Untuk frekuensi yang mendekati resonansi, respon getaran sangatlah signifikan dibandingkan yang lain, sehingga *noise* bisa di abaikan. Tetapi, *noise* sangatlah mengganggu pada frekuensi selain itu. Maka untuk mengukur keakuratan data, perlu dilakukan perhitungan kembali sebagai ukuran dari keandalan data yang telah diambil pada penelitian.

Sebuah percobaan dapat disederhanakan menjadi gambar di bawah ini:



Gambar 2.13. Ilustrasi *modal testing* secara umum

Bagan pada gambar 2.13. sudah mengubah $F(t)$ dan $X(t)$ menjadi $F(\omega)$ dan $X(\omega)$ menggunakan *Fourier Transform*. Maka dengan ini gambar diatas bisa dinyatakan dengan persamaan:

$$H(\omega) = \frac{X(\omega)}{F(\omega)} \quad (2.13)$$

Sebuah FRF analysis didefinisikan sebagai *cross spectrum* dari eksitasi dan respon dibagi dengan *auto spectrum* dari eksitasi. Maka persamaan diatas menjadi

$$H_1(\omega) = \frac{S_{FX}(\omega)}{S_{FF}(\omega)} \quad (2.14)$$

Disini, $S_{FX}(\omega)$ adalah *cross spectrum* dari eksitasi dan respon, dan $S_{FF}(\omega)$ adalah *auto spectrum* dari eksitasi. Diketahui lebih lanjut pada *spectral analysis* adalah pada FRF yang sama *noise* dapat di estimasi juga melalui *ratio auto spectrum* dari eksitasi dan *cross spectrum* dari eksitasi dan respon, atau dapat juga ditulis sebagai berikut:

$$H_2(\omega) = \frac{S_{XX}(\omega)}{S_{XF}(\omega)} \quad (2.15)$$

Persyaratan jika sebuah data FRF dinyatakan memuaskan dan minim *noise* serta kesalahan pengukuran adalah sebagai berikut:

$$H_1(\omega) = H_2(\omega) = H(\omega) \quad (2.16)$$

Hal ini berhubungan dengan nilai *coherence*. *Coherence* adalah metode pengukuran valid data dari FRF yang menyatakan baik buruknya sebuah pengolahan data tersebut. Skala *coherence* dinyatakan dari 0 hingga 1. Nilai 1 melambangkan bahwa hubungan antara input dan output adalah linier dan merupakan sebuah data yang baik. Sedangkan nilai selain satu mengindikasikan bahwa tdpat pengujian telah dipengaruhi oleh *noise*, nilai selain 1 juga bisa

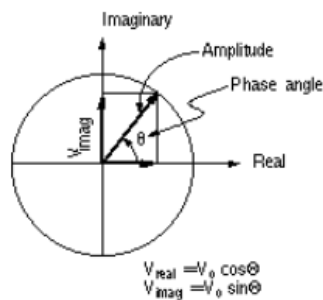
diakibatkan oleh kesalahan pengolahan data. Semakin mendekati 0, kualitas data yang diolah bisa dinyatakan semakin buruk. Formula *coherence* ($\gamma_{FX}^2(\omega)$) dinyatakan dengan:

$$\gamma_{FX}^2(\omega) = \frac{|S_{FX}(\omega)|^2}{S_{FF}(\omega)S_{XX}(\omega)} \quad (2.17)$$

2.9. Sudut Fase

Sudut fase adalah derajat dimana sebuah gelombang terjadi. Hal ini menjadi penting diperhatikan dalam eksperimen modal analysis ini karena, salah satu fungsi sudut fase kali ini adalah untuk mengetahui kekakuan keseluruhan struktur. Percobaan eksperimen kali ini menggunakan dudukan, yang akan dibahas lebih lanjut pada bab 3, sebagai desain yang mendukung dalam percobaan kali ini. Pengecekan sudut fase ini bisa membuktikan kekakuan antara material uji dan dudukan.

Jika sudut fase sama sama bernilai positif (+) maupun negative (-) pada frekuensi natural antara material uji dan dudukan maka dapat diasumsikan bahwa dudukan sudah cukup rigid, ini berarti antara material dan dudukan bergetar pada arah yang sama. Jika nilai antara kedua itu berlainan, perlu dilakukan pengecekan ulang tentang proses setting dudukan maupun material uji. Ilustrasi sederhana dari sudut fase dapat di lihat pada gambar dibawah.



Gambar 2.14 .Ilustrasi sudut fase (<http://www.ansys.stuba.sk>)

Pada saat spectrum gelombang pada frequency domain mencapai amplitude (disimbolkan dengan V pada gambar diatas) garis V diatas di ubah menjadi vector yang mewakilinya pada garis x (Vreal) dan y (Vimaginary). Kemudian teori trigonometri sederhana diaplikasikan untuk mengetahui sudut fase spectrum pada amplitudonya.

Jika :

$$V_{\text{real}} = V \cos \emptyset$$

$$V_{\text{imaginary}} = V \sin \emptyset$$

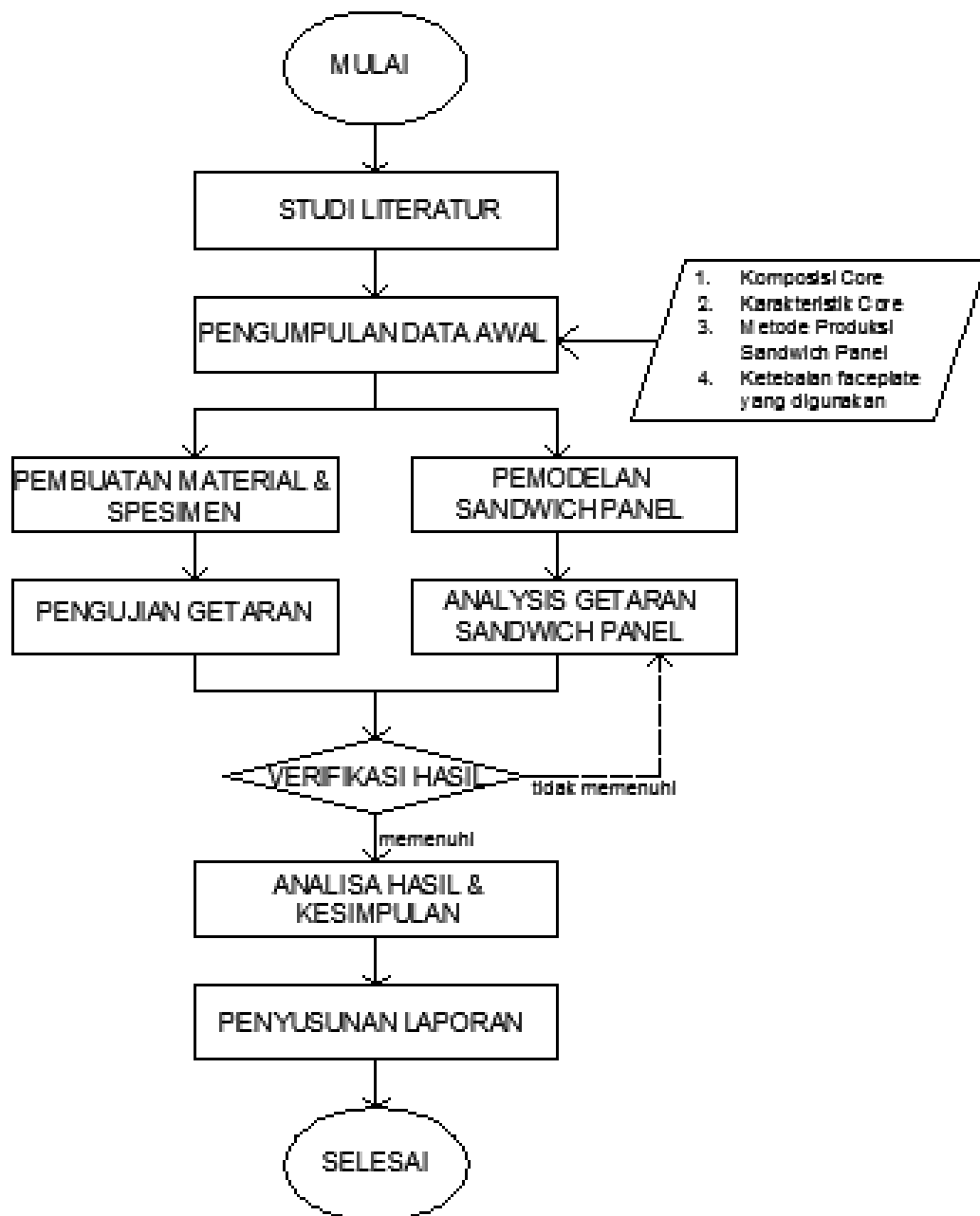
Maka, \emptyset (sudut fase) dapat dicari dengan formula:

$$\emptyset = \tan^{-1}(V_{\text{imaginary}}/V_{\text{real}}) \quad (2.18)$$

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Tahapan penelitian.

Sebagai landasan operasional pelaksanaan eksperimen dalam penelitian ini disusun kerangka penelitian secara skematis diuraikan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Skema Penelitian

3.2 Studi Literatur

Dalam tahap ini, penulis mencari sebanyak-banyaknya sumber informasi yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Baik melalui buku-buku, *paper*, jurnal, penelitian sebelumnya, pendapat para ahli, internet dan lain-lain.

3.3 Pengumpulan Data Awal

Pada tahap ini, penulis mengumpulkan data awal yang dibutuhkan dalam pembuatan *model* dan spesimen berdasarkan penelitian yang telah dilakukan. Utomo, (2016) telah melakukan penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan *Sandwich panel*. Hal-hal yang menjadi bahan acuan peneliti dalam penelitian kali ini juga mengacu pada hasil penelitian Utomo, (2016). Beberapa hal yang diambil sebagai data awal penelitian adalah:

- Komposisi inti *Sandwich panel*
- Metode produksi dan pembuatan *Sandwich panel*
- Karakteristik material inti *Sandwich panel*
- Ketebalan *faceplate* yang digunakan

Pada penelitian yang dilakukan oleh Utomo, (2016) aplikasi *sandwich panel* pada kapal ferry ro-ro diaplikasikan pada beberapa bagian. Bagian-bagian tersebut adalah *Top Deck*, *Navigation Deck*, *Passanger Deck*, *Crew Deck*, dan *Car Deck*. Kalkulasi yang telah dilakukan ditunjukkan pada table berikut:

Tabel 3.1. Perhitungan ketebalan *faceplate* (Utomo, 2016)

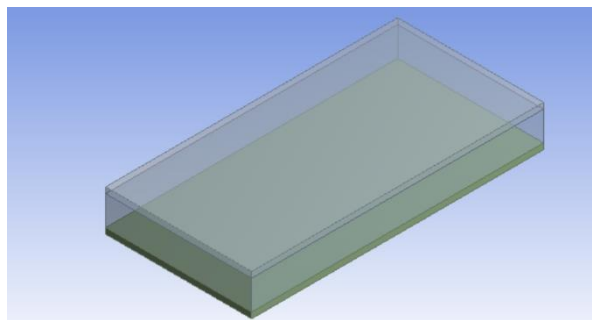
| Bagian | f_1 | t_0 | k | L (m) | $t_{1,2min}$ (mm) | t_k (mm) | $t_{min}+t_k$ (mm) | Hasil (mm) |
|-------------------|-------|-------|------|------------|----------------------|---------------|-----------------------|---------------|
| <i>Top deck</i> | 1 | 5,5 | 0,02 | 48,82 | 3,24 | 1,5 | 4,7 | 4,0 |
| <i>Nav. Deck</i> | 1 | 5,0 | 0,00 | 48,82 | 2,50 | 1,0 | 3,5 | 4,0 |
| <i>Pass. Deck</i> | 1 | 5,0 | 0,00 | 48,82 | 2,50 | 1,0 | 3,5 | 4,0 |
| <i>Crew. Deck</i> | 1 | 5,0 | 0,00 | 48,82 | 2,50 | 0,5 | 3,0 | 4,0 |
| <i>Car. Deck</i> | 1 | 5,0 | 0,04 | 48,82 | 3,48 | 2,0 | 5,5 | 6,0 |

Proses pengerjaan Tabel 3.1, dihitung menggunakan kalkulasi dan standart yang telah diterapkan oleh DNV sesuai dengan formula 2.1 dan 2.2. parameter-parameter yang digunakan juga menggunakan persyaratan oleh DNV yang terdapat pada tabel 2.4 dan tabel 2.5. Dapat dilihat pada tabel 3.1, ketebalan plat untuk

faceplate pada *top deck*, *nav deck*, *pass deck*, *crew deck* menggunakan plat dengan ketebalan 4 mm. sedangkan untuk *car deck* plat yang harus digunakan adalah plat 6 mm.

3.4. Pemodelan Sandwich panel

Pemodelan *sandwich panel* pada penelitian ini menggunakan *fenite elemen modelling*. Model *sandwich panel* ini kemudian akan dilakukan proses *modal analysis* untuk mengetahui karakteristik dinamika material tersebut.



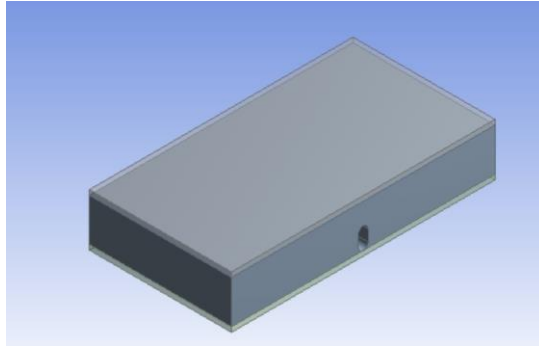
Gambar 3.2. Model Sandwich panel

Model yang dibuat memiliki panjang 100 mm x 200 mm. Skala 1:2 ini diambil berdasarkan perkiraan skala pemasangan di kapal sebenarnya. Berdasarkan jarak konstruksi antar *girder* dengan mengurangi keberadaan *stiffner* Karakteristik material yang digunakan pada *face plate* adalah *structural steel plate* / baja dan karakteristik *corenya* adalah *synthetic resin* yang didapat dari penelitian sebelumnya. Berikut adalah koefisien dari material *core Sandwich panel*:

- *Density* : 1728 kg/m³
- *Modulus young* : 2792,06 Mpa
- *Shear Modulus* : 1396,03 Mpa

Setelah material *Sandwich panel* utuh di lakukan proses analisa pemodelan proses selanjutnya adalah memodelkan cacat yang terjadi pada *model*. Cacat yang terjadi terdapat pada bagian *core* nya. Posisi cacat yang diambil berdasarkan hasil visual dari percobaan uji bending penelitian sebelumnya. Cacat yang dimodelkan disesuaikan dengan percobaan eksperimen yaitu berbentuk oval dengan dua variasi panjang cacat. Cacat pertama dikondisikan separuh ketebalan *core*. Dan cacat

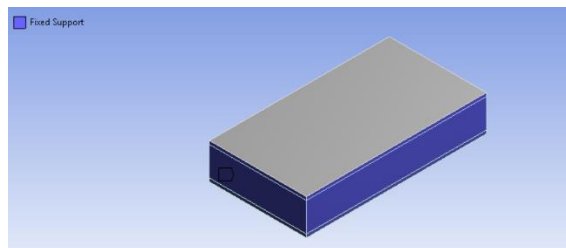
kedua dibuat setebal *core material*. Sementara panjang cacat secara horizontal sama, yaitu selebar material uji.



Gambar 3.3. *Model Sandwich panel* dengan kerusakan

3.5. Proses Analisa Program

Pada proses ini, terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan sebelum bisa memulai proses kalkulasi program. *Model sandwich panel* dikondisi sedemikian hingga agar semirip mungkin dengan situasi dikapal sesungguhnya. Karena proses penyambungan material di kapal pada umumnya menggunakan metode las, pada setiap sisi dimodelkan seperti tumpuan jepit.



Gambar 3.4. Tumpuan Jepit di keempat sisi

Kemudian, pada kategori *output*, kita bisa memberikan order kepada program untuk menentukan *mode* yang akan dikalkulasi. Pada penelitian ini, dimasukkan hingga *mode 2*.

3.6. Pembuatan Material & Spesimen Uji

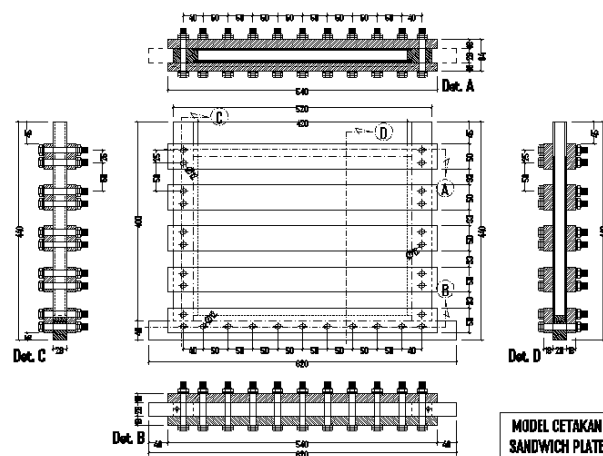
Plat baja yang digunakan dalam pembuatan *sandwich panel* ini, terlebih dahulu dilakukan proses pengasaran pada permukaannya. Proses yang dilakukan adalah dengan metode *blasting*. Pengasaran permukaan ini bertujuan agar

permukaan baja mempunyai permukaan yang lebih luas sehingga *core* akan semakin melekat pada *faceplate*

3.6.1 Proses Penyetakan *Sandwich panel*

Metode pembuatan material *sandwich panel* pada penelitian kali ini menggunakan metode pengecoran. Material *core* dimasukkan diantara *faceplate*, dalam penelitian ini adalah baja dan kemudian dibiarkan bereaksi dan menempel pada *faceplate* tersebut.

Oleh karena itu dibutuhkan cetakan sebagai variabel control terhadap konsistensi ketebalan *core* yang akan dicetak. Cetakan juga didisain agar semua rongga dari *sandwich panel* terisi dengan baik sehingga tidak menyisakan rongga udara yang bisa mengakibatkan kerusakan. Berikut adalah desain cetakan yang digunakan pada penelitian kali ini.



Gambar 3.5. Desain cetakan *Sandwich panel* (Utomo, 2016)

Cetakan ini dibuat menggunakan material kayu dan disambung menggunakan mur dan baut antar bagiannya. Ini ditujukan agar proses bongkar pasang menjadi gampang.

Kemudian, *face plate* yang akan dibuat menjadi *sandwich panel* di pasang ke cetakan dengan ditambahkan *silicon* menggunakan *silicon gun*. Ini dilakukan agar menghindari kebocoran material inti pada cetakan pada proses reaksi dan pengerasan. Setelah *silicon* telah rata menutup semua celah dan mengering, baut-baut sebagai penahan agar plat tidak jatuh dipasang.

Perlu diperhatikan pada saat pemasangan baut. Jika baut yang dipasang terlalu kencang, akan menekan cetakan kayu ke baja sehingga mengakibatkan deformasi pada baja. Deformasi ini secara langsung tidak akan berakibat apa-apa pada proses pemasangan plat pada cetakan. Tapi saat semua proses penyetakan selesai dan *core* telah mengeras, baja akan kembali ke bentuk sebelumnya karena sifat elastisnya. Ini bisa berakibat terlepasnya ikatan antara *faceplate* dan *core* material.

Setelah plat dan baut terpasang dengan baik, maka cetakan bisa dibalik untuk memulai pemasangan plat bagian sisi yang lain dengan metode dan cara yang sama. Berikut adalah hasil contoh pemasangan plat pada cetakan.



Gambar 3.6. Plat yang sudah ter set dengan baik pada cetakan

3.6.2 Proses Pembuatan Material Inti

Kemudian, tahapan selanjutnya adalah pembuatan material inti *sandwich panel*. Material inti menggunakan *synthetic resin* dengan *talca*. Perbandingan dari keduanya adalah 1:1. Campuran tersebut kemudian di *mix* dengan *handmade mixer* hingga tercampur. Agar material tercampur dengan rata, pigmen warna diberikan kepada campuran material. Pigmen ini sebagai control atas pemerataan proses penyampuran. Jika warna yang diberikan sudah merata, maka bisa dianggap bahwa campuran *synthetic resin* dan *talca* sudah merata. . Kemudian ditambahkan katalis 0,3% dan di campur lagi hingga merata kembali.



Gambar 3.7. Proses penakaran dan pencampuran komponen material inti

Kemudian, campuran material inti dituang pelan pelan hingga memenuhi cetakan. Dan kemudian diratakan bagian atasnya. Material ditunggu hingga bereaksi dan mengering. Setelah kering dan menempel pada *face plate*, *sandwich panel* dilepas dari cetakannya dengan membalik proses pemasangan.



Gambar 3.8. Proses menunggu material inti mengeras

3.6.3 Proses Pembentukan Material Uji

Dikarenakan *sandwich panel* ini adalah material yang terdiri dari dua buah material yang terpisah, hal yang utama dikhawatirkan adalah terlepasnya kedua jenis material tersebut. Oleh karena itu, berdasarkan penelitian sebelumnya, proses pemotongan harus dilakukan secara perlahan dan dengan proses pendinginan yang baik. Ini dilakukan agar material tidak panas dan mengakibatkan mudah terlepas. Factor-faktor lain juga berperan dalam kelancaran proses pemotongan, seperti betul tidaknya proses produksi (pengencangan baut-baut, kekasaran permukaan *face plate*).

Pemotongan pelat dilakukan menggunakan gergaji dengan brand *BandSAW RF 812 N*. Pemotongan ini menghasilkan bentuk yang baik, presisi, dan yang terpenting tidak terlepasnya lapisan *sandwich*. Pendinginan yang diaplikasikan pada metode ini berupa dua jenis pendinginan, dengan menggunakan air dan udara bertekanan. Kelemahan terbesar dari metode ini adalah prosesnya yang memakan waktu yang sangat lama karena proses nya sangat perlahan untuk menghindari kegagalan.



Gambar 3.9. Proses pemotongan *Sandwich panel*

3.6.3 Proses Pembentukan Cacat pada Material Uji

Proses pembentukan cacat pada material uji menggunakan mesin bor duduk dan dikerjakan pada Bengkel PPNS Surabaya. Cacat berbentuk oval sepanjang lebar dari material uji. Lebar cacat adalah 8mm dan terletak pada tengah-tengah panjang material uji. Variasi cacat dipilih menjadi dua, setengah ketebalan *core* dan ketebalan *core* penuh.



Gambar 3.10. Cacat pada material inti

3.7. Pengujian Getaran

3.7.1. Persiapan Pengujian

Sebelum pengujian, perlu dilakukan persiapan-persiapan tertentu dalam pengujian getaran. Agar pengujian ini sesuai dengan kondisi lapangan yaitu plat yang dilas (jepit) pada keempat sisinya, maka perlu dibuat sebuah peralatan tambahan untuk mendukung hal tersebut. Tentu saja struktur yang ditambahkan tidak boleh mengganggu dan mengubah hasil dari pengujian.

Melihat kondisi di laboratorium Mesin ITS, tempat pengujian dilakukan, dan batasan yang ada, maka diputuskan untuk membuat sebuah dudukan. Dudukan tersebut terbuat dari baja dengan ketebalan 10 hingga 25 mm. Dudukan ini dibuat seberat mungkin, sehingga diharapkan frekuensi yang dimiliki oleh dudukan tinggi dan melebihi panel yang akan diuji dan tidak mengganggu proses identifikasi *spectrum* hasil pengujian. Dudukan akan dipasang pada meja mesin *fraise* dengan baut M16 sebanyak 6buah. Struktur atas dudukan didesain sedemikian hingga agar dapat menekan panel dari atas dan menjadikan panel seolah-olah terjepit dari keempat sisinya. Struktur atas yang berfungsi menekan plat tersebut menggunakan baut M8 sebagai sarana penekan plat dari atas.

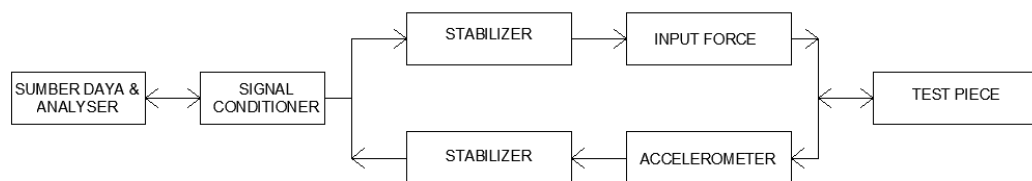


Gambar 3.11. Dudukan untuk pengujian getaran

Kemudian pemasangan panel pun dilakukan. Panel dipasang melalui atas dari dudukan dan kemudian dikencangkan seluruh baut yang ada pada dudukan. Pengencangan baut ini perlu menjadi perhatian, karena jika ada baut yang kurang kencang, maka dudukan bisa ikut bergetar. Getaran dari dudukan ini bisa mengganggu proses identifikasi hasil pengujian

3.7.2. Setting Alat Pengujian Getaran

Setelah panel terpasang dengan baik di dudukan, alat pengujian pun dipasang. Pengujian kali ini menggunakan *Experiment Modal Analysis* dengan metode *impact input* dan *piezoelectric accelerometer*. Bagan penyusunan dari pengujian ini bisa dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12. Set up penelitian yang digunakan dalam pengujian

Berikut adalah *brand* dan jenis dari peralatan-peralatan dan *software* yang digunakan dalam melakukan pengujian kali ini

- Sumber daya : Laptop *Asuspro* P2420LJ
- *Analysers* : *Software* PicoScope 6 ver 6.11.12.1692
- *Hammer* : Omega IH 101-1K



Gambar 3.13. *Hammer* yang digunakan dalam pengujian

3.7.3. Pemilihan *Hammer Tip*

Langkah selanjutnya dalam memulai pengujian getaran adalah memilih *hammer tip* yang cocok untuk panel. Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, pemilihan *hammer tip* ini merupakan hal yang penting, karena mempengaruhi frekuensi yang ingin diidentifikasi.

Laboratorium Mesin ITS tempat dilakukan pengujian ini memiliki dua buah *Hammer tip*. *Hammer tip* pertama terbuat dari material plastik dan yang kedua terbuat dari aluminium. Setelah itu dilakukan pengujian *Impact modal analysis* untuk mengetahui jenis *Hammer Tip* mana yang akan digunakan dalam percobaan.

Pada setting program, karena secara teori range frekuensi yang bisa dijangkau oleh hammer tip bermaterial aluminium lebih besar dari plastic, maka perlu dilakukan setting ulang pada software analyzer. Setting yang dimaksud adalah penambahan jumlah data yang diambil. Semula, pada material berbahan plastic, data yang diambil sebanyak 2000 data per eksitasi. Karena pergantian hammer tip tersebut, data yang diambil menjadi 5000 data.

Semakin banyak data, maka waktu yang diperlukan untuk pengujian semakin panjang. Untuk mengatur hal tersebut, maka setting interval antar data pun diganti. Pada pengujian plastic, interval yang digunakan adalah 50 ms/div. untuk pengujian menggunakan hammer tip aluminium, interval yang digunakan sebesar 20 ms/div.

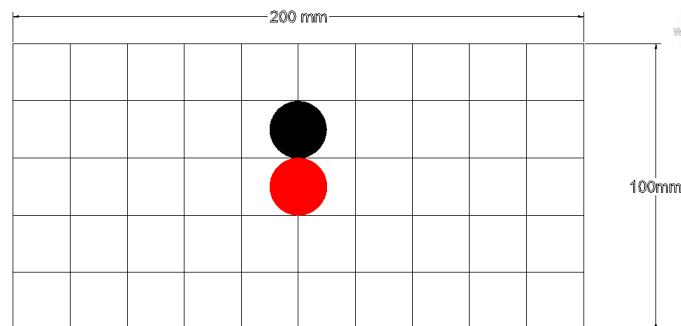
3.7.4. Pengujian Pengaruh Set-up Terhadap Frekuensi

Inti pengujian pada penelitian ini dibagi menjadi dua bagian. Yaitu pengujian pada material utuh dan material cacat. Pada pengujian material cacat, dibagi kembali menjadi dua, material dengan cacat setengah ketebalan dan cacat dengan ketebalan penuh. Hal ini mengakibatkan material harus di lepas-pasang untuk proses pembuatan cacat.



Gambar 3.14. Proses setup ulang panel dan dudukan

Oleh karena itu, perlu dilakukan pengujian getaran dengan kondisi material dilepas dan pasang berkali-kali untuk membuktikan bahwa pada proses penggantian material tidak atau hanya sedikit mempengaruhi hasil dari pengujian. Pengujian dilakukan dengan 3 kali pelepasan dan pemasangan material yang sama. Proses pengambilan data adalah dengan eksitasi *hammer* sebanyak 3 kali setiap pemasangan material *sandwich*. Lokasi eksitasi dan *accelerometer* tetap di setiap pemasangannya. Tempat pemasangan *hammer* dan *accelerometer* dapat dilihat pada gambar 3.15 dibawah. *Accelerometer* dilambangkan dengan titik merah dan *hammer* dilambangkan dengan titik hitam.

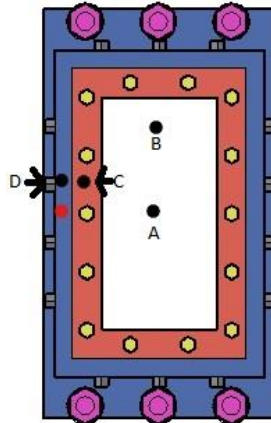


Gambar 3.15. Ilustrasi peletakan *hammer* dan *accelerometer* pada pengujian pengaruh set-up *Sandwich panel*

3.7.5. Pengujian Frekuensi Natural Dudukan

Pada pengujian getaran, semua aspek bisa mempengaruhi hasil dari pengujian, baik *noise*, kondisi material itu sendiri, pengolahan data dan lain-lain. Tidak terkecuali jika pada material itu terdapat tambahan struktur tambahan dalam pengujian.

Oleh karena itu perlu diadakan pengujian tentang frekuensi natural pada dudukan pengujian getaran. Langkahnya adalah saat panel sudah di pasang dan *set* dengan baik, *accelerometer* di tempatkan di dudukan, dan kemudian *input impact* dari *hammer* di aplikasikan di beberapa titik. Ilustrasinya bisa dilihat pada gambar 3.15.



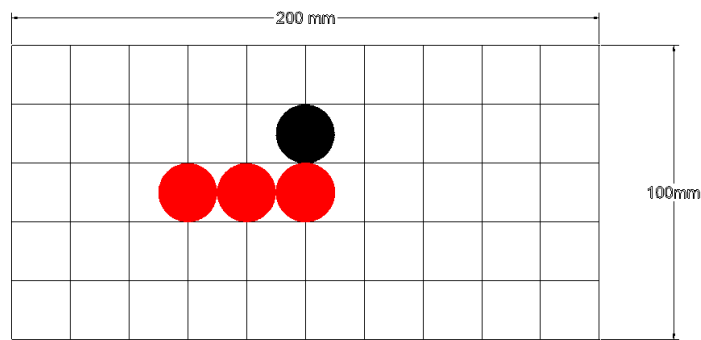
Gambar 3.16. Ilustrasi posisi percobaan frekuensi natural dudukan

Gambar diatas adalah tampak atas dari dudukan, dengan kotak putih ditengah diumpamakan sebagai material *sandwich panel*. Titik hitam pada gambar diatas menunjukkan tempat *hammer* di eksitasi, dapat dilihat bahwa *hammer* di eksitasi di 4 titik. Sementara titik merah adalah tempat *accelerometer* ditempatkan. Diharapkan dari pengujian ini, didapat data frekuensi natural dari dudukan tersebut. Sehingga saat proses identifikasi frekuensi natural panel, data ini tidak dapat mengganggu dan mengaburkan proses pembacaan frekuensi natural panel.

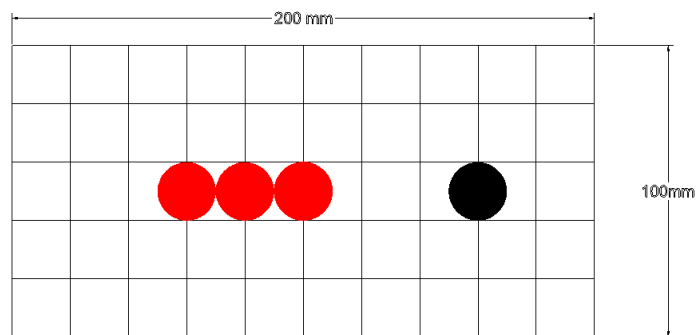
3.7.6. Pengujian *Panel Sandwich*

Pengujian *Panel* ini adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik dinamis dari material *Sandwich* itu sendiri. Peralatan-peralatan yang digunakan sama dengan pengujian sebelum pengujian ini. Hanya saja, peletakan *hammer* dan *accelerometer* yang berbeda.

Pada pengujian ini, pada setiap panel nya peneliti meletakkan titik eksitasi *hammer* di dua titik, dengan masing masing titik mempunyai tiga peletakan *accelerometer* yang berbeda. Dalam sekali pengambilan data per posisi, *hammer* di eksitasi sebanyak 12 kali. Berikut ini adalah ilustrasi pengambilan data dari pengujian kali ini.



Gambar 3.17. Ilustrasi pengambilan data pertama

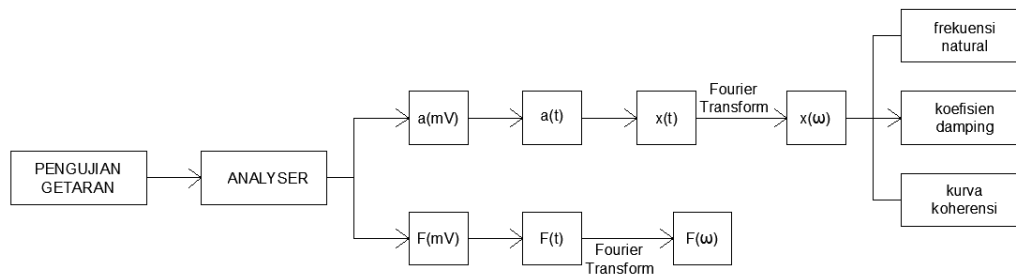


Gambar 3.18. Ilustrasi pengambilan data kedua

Pada gambar 3.16 dan 3.17 adalah ilustrasi pengambilan data pada pengujian getaran ini. Pertama-tama, panel di beri garis dengan jarak 20mm membentuk kotak-kotak seperti diatas. Titik hitam diatas menunjukkan posis eksitasi *hammer* pada panel. Dan titik-titik merah diatas menunjukkan posisi *accelerometer* yang berpindah pindah. Posisi pengambilan data diatas diambil agar sebanyak mungkin *mode* getaran yang terjadi pada panel dapat terambil datanya pada pengujian ini.

3.7.7. Proses pengolahan data

Data yang didapat dari pengujian tidak bisa langsung digunakan sebagai bahan analisa. Data harus diolah terlebih dahulu menggunakan teori-teori dan formula yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya. Pada penelitian kali ini penulis mengolah data dengan bantuan *software* matematis. Adapun bagan dari pengolahan data hasil penelitian dapat dilihat pada gambar 3.18 dibawah ini.



Gambar 3.19. Bagan pengolahan data.

Dari bagan diatas, data yang didapat dari pengujian getaran akan terekam pada *analyser*. Pertama-tama, data yang terekam pada *analyser* masih berupa dimensi signal listrik. Untuk mengubahnya ke dimensi yang lebih familiar maka perlu dilakukan konversi. Konversi pada tahap ini dapat melalui data sensitifitas dari *accelerometer* dan *hammer* yang digunakan dalam penelitian. Adapun data sensitifitasnya adalah

- *Accelerometer sensitivity* : $\frac{10,32}{9,8} mV/ms^2$
- *Hammer sensitivity* : $1,14877737 mV/N$

Kemudian untuk mempermudah analisa hasil, percepatan sebagai *output* pada *accelerometer* dikonversi menjadi *displacement* atau perubahan menggunakan formula (3.1)

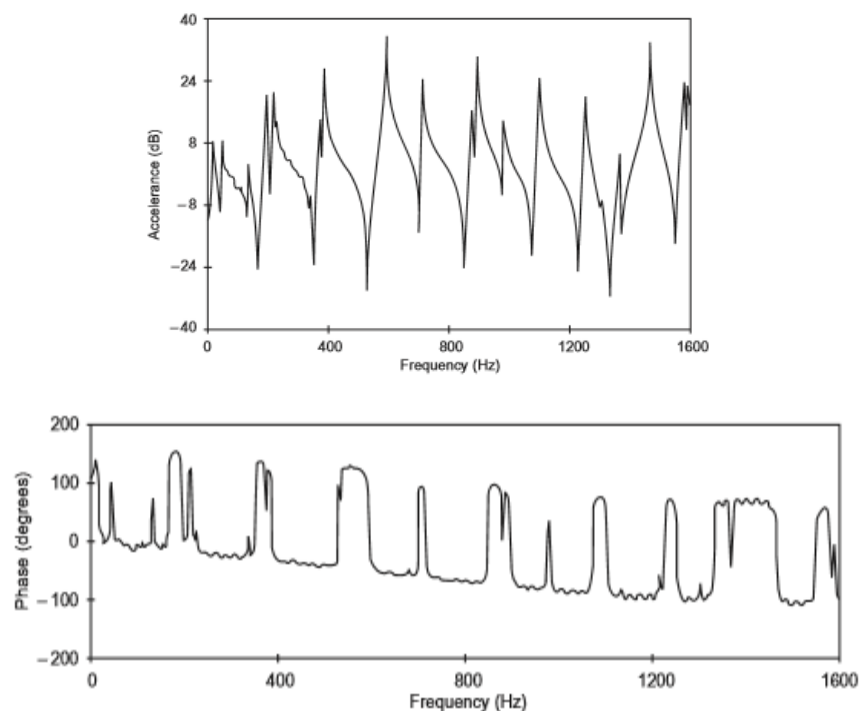
$$x = \frac{a}{2\pi^2 f^2} \quad (3.1)$$

Kemudian setelah itu, formula *Fourier Transform* digunakan pada data, sesuai dengan formula (2.8). Setelah proses konversi selesai, pengamatan pada *force* dilakukan. Apakah *force* yang digunakan mencukupi hingga frekuensi yang ingin diidentifikasi. Jika tidak, tes ulang dapat dilakukan.

Kemudian *spectrum displacement* berdasarkan *frekuensi domain* dapat diidentifikasi dan dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan karakteristik dinamis dari material tersebut sesuai dengan formula (2.11), dan (2.17).

Setelah semua data didapatkan, proses selanjutnya merupakan proses identifikasi frekuensi natural. Pada proses ini, peneliti menggunakan grafik transfer function sebagai identifikasi. Dipilih transfer function sebagai sarana identifikasi karena, transfer function merupakan perbandingan dari output dengan input. Sehingga, pengaruh force pada pengujian ini tidak berpengaruh terhadap hasil. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, ketidak stabilan force pada pengujian ini bisa diatasi menggunakan proses identifikasi menggunakan transfer function

Sebagai sarana estimasi utama, diambil data dari pengujian analisa pemodelan. Ini sangat membantu untuk mengestimasi di area mana pembacaan frekuensi natural. Hal yang pertama diperhatikan adalah nilai koherensi yang terdapat pada pengujian tersebut, jika dirasa sudah baik, maka selanjutnya bisa diidentifikasi peak mana yang merupakan frekuensi natural berdasarkan perkiraan estimasi dari proses analisa pemodelan.



Gambar 3.20. contoh hasil pengujian getaran pada frekuensi domain dan sudut fasenya.

Dikarenakan peak yang terdapat pada pengujian terkadang banyak dan susah dibedakan, maka dilakukan proses verifikasi peak menggunakan sudut fase. He Jimin, pada bukunya menyatakan bahwa secara teori, sudut fase pada sebuah

mode getaran akan berubah sebanyak -180° . Ini menandakan perubahan drastis dari positif ke negative atau sebaliknya. Jika peak yang diestimasi menunjukkan perubahan sudut fase seperti diatas, maka diambil kesimpulan bahwa peak pada frekuensi tersebut merupakan frekuensi natural dari sandwich panel.

3.8. Verifikasi Hasil

Pada tahap ini telah di dapat hasil dari pengujian maupun software analisa. Hasil frekuensi natural tersebut kemudia di bandingkan satu sama lain. Langkah ini sebagai cross-check antar dua metode pengujian agar saling menguatkan satu sama lain. Jika terjadi penyimpangan data yang terlampau jauh, baik pengujian eksperimen maupun software dapat diulang untuk mencapai hasil yang optimal.

3.9. Analisa Hasil dan Kesimpulan

Setelah hasil yang diperbandingkan dirasa sudah optimal dan baik, maka setelah itu dilakukan analisa terhadap hasil pengujian tersebut. Analisa dilakukan dengan teori-teori yang berkaitan dengan permasalahan yang dibahas. Proses analisa dan kesimpulan juga dilakukan dengan berdiskusi dengan para ahli serta mencari literatur tambahan sebagai bahan referensi.

3.10. Penyusunan Laporan

Kemudian penyusunan laporan pun dilakukan sebagai bukti dan rekaman dari proses penelitian dan hasil penelitian. Laporan penelitian ini menggunakan format dari insitusi tempat penulis bernaung yaitu ITS Surabaya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pemilihan Dimensi *Sandwich panel*

Pertama-tama, setelah dilakukan perhitungan terhadap *faceplate* yang telah disajikan pada tabel 3.1, dilakukan perhitungan atas ketebalan *core sandwich panel*. Perhitungan ini menggunakan standart yang telah ditetapkan oleh DNV. Formula yang digunakan dalam perhitungan ini menggunakan formula 2.3.

Tabel 4.1. Perhitungan ketebalan *core* untuk *faceplate* 4mm

| Nama bagian | A (mm) | b (mm) | A_R $(a/b)^{0.65}$ | Z_{rule} (cm ³) | l (cm) | $P_{eq,R}$ (Mpa) | <i>face plate</i> | | |
|--|---------------|-------------|-------------------------|----------------------------------|---|---------------------|-------------------|---------------|-----|
| | | | | | | | t_1 (mm) | t_2 (mm) | k |
| Top Deck, Navigation Deck, Crew Deck, Double bottom plate | 3000 | 1,500 | 1.36 | 2,109,784 | 300 | 0.040 | 4.0 | 4.0 | 1 |
| | t_c (mm) | d (mm) | R | $R \leq I$ | Hasil | | | | |
| | 30.00 | 34.00 | 0.603 | OK | Seluruh ketebalan <i>core</i> yang dipilih memenuhi persyaratan | | | | |
| | 35.00 | 39.00 | 0.524 | OK | | | | | |

Tabel 4.2. Perhitungan ketebalan *core* untuk *faceplate* 6mm

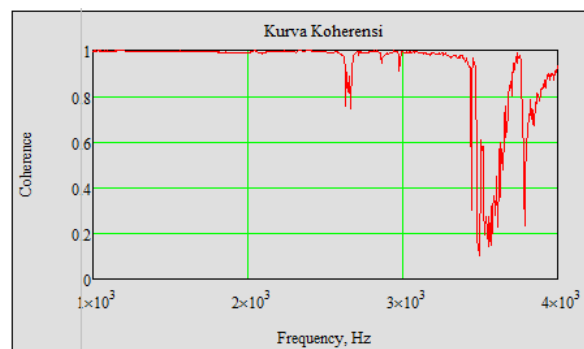
| Nama bagian | a (mm) | b (mm) | A_R $(a/b)^{0.65}$ | Z_{rule} (cm ³) | l (cm) | $P_{eq,R}$ (Mpa) | <i>face plate</i> | | |
|-------------|---------------|-------------|-------------------------|----------------------------------|---|---------------------|-------------------|---------------|-----|
| | | | | | | | t_1 (mm) | t_2 (mm) | k |
| Car Deck | 3000 | 1,500 | 1.36 | 2,109,784 | 300 | 0.040 | 6.0 | 6.0 | 1 |
| | t_c (mm) | d (mm) | R | $R \leq I$ | Hasil | | | | |
| | 20.00 | 24.00 | 0.613 | OK | Seluruh ketebalan <i>core</i> yang dipilih memenuhi persyaratan | | | | |
| | 30.00 | 34.00 | 0.430 | OK | | | | | |

Tabel 4.1 dan tabel 4.2 diatas menunjukkan bahwa variasi ketebalan *core* yang diambil telah memenuhi persyaratan DNV. Nilai R yang disyaratkan telah memenuhi ketentuan Rules, yaitu dibawah nilai 1 Dengan demikian, dimensi *sandwich panel* yang akan diproduksi dan digunakan dalam pengujian ini adalah 4-30-4 dan 4-35-4 untuk plat datar dengan aplikasi pada top deck, navigation deck, crew deck, dan double bottom deck dan 6-20-6 dan 6-30-6 untuk plat datar dengan aplikasi pada car deck.

4.2. Hasil dan analisa pemilihan *hammer tip*

Seperti yang telah dibahas sebelumnya, pemilihan *hammer tip* sangat penting dalam pengujian getaran ini. Jenis material yang digunakan pada *hammer tip* sangat mempengaruhi *range* pembacaan frekuensi yang diinginkan. Percobaan ini menggunakan dua jenis material *hammer tip*, *plastic* dan aluminium.

Hal yang pertama kali diperhatikan dalam pengujian kali ini adalah nilai koherensi maksimal yang dapat dicapai oleh tiap-tiap pengujian. Koherensi disini, seperti yang telah dibahas pada bab sebelumnya, dinyatakan dengan skala 0-1. Skala 1 memiliki arti bahwa terjadi kesesuaian antara input dan output pada percobaan, atau dalam arti lain, noise yang masuk saat pengujian kecil. Semakin nilai koherensi mendekati nol, bisa dikatakan bahwa *noise* yang masuk pada percobaan tersebut semakin besar dan dapat mengganggu dalam proses pengolahan data.



Gambar 4.1. Contoh Kurva Koherensi pada pengujian Hammer Tip

Gambar 4.1 merupakan contoh kurva koherensi yang didapat dari pengujian hammer tip. Terlihat pada gambar, bahwa pada frekuensi diantara 3000 dan 4000, nilai koherensi menurun tajam. Nilai yang semula mendekati 1 tiba-tiba berubah menjadi sekitar 0.2. berdasarkan hasil yang terdapat pada pengolahan data, pada saat grafik ini lah diambil kesimpulan bahwa kemampuan range frekuensi dari hammer tip berkurang. Sehingga, titik itu diambil sebagai patokan pada pengujian ini. Berikut adalah hasil dari analisa koherensi berikut dengan range frekuensi.

Tabel 4.3. Hasil Pengujian *Hammer Tip* material plastik

| No | Coherence | Frequency (Hz) |
|----|-----------|----------------|
| 1 | 0.125 | 3500 |
| 2 | 0.14 | 3487 |
| 3 | 0.47 | 3502 |
| 4 | 0.41 | 3303 |
| 5 | 0.14 | 3647 |
| 6 | 0.15 | 3622 |

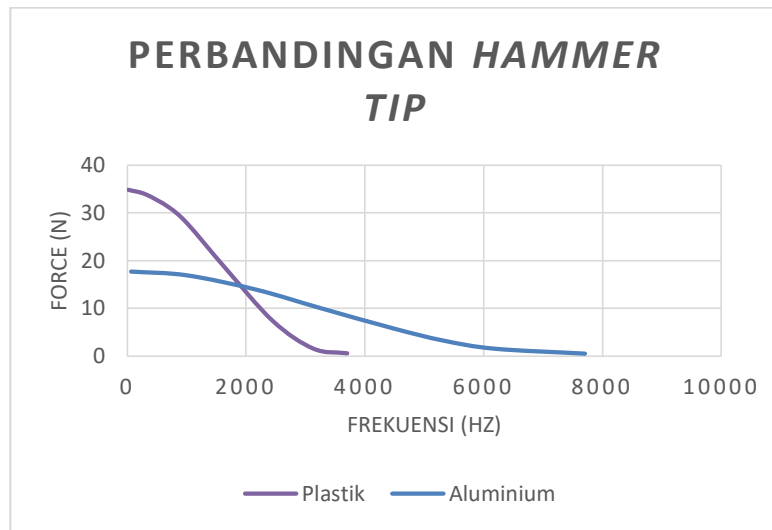
Seperti yang dapat dilihat pada tabel 4.3 peneliti mengambil 6 data dalam setiap pengujian *hammer tip* ini. Pada hasil pengujian *hammer tip* berbahan *plastic*, nilai koherensi yang didapat pada frekuensi sekitar 3500 menjadi buruk dengan nilai koherensi rata-rata 0.24.

Tabel 4.4. Hasil Pengujian *Hammer Tip* material aluminium

| No | Coherence | Frequency (Hz) |
|----|-----------|----------------|
| 1 | 0.6 | 5476 |
| 2 | 0.65 | 4752 |
| 3 | 0.63 | 5197 |
| 4 | 0.62 | 5502 |
| 5 | 0.55 | 4757 |
| 6 | 0.57 | 4053 |

Percobaan dengan *hammer tip* berbahan aluminium memiliki langkah pengerjaan yang sama dengan *hammer tip* dengan plastik. Dapat di lihat pada tabel 4.4, nilai koherensi mulai menurun pada frekuensi sekitar 5000Hz dengan nilai koherensi rata-rata berkisar 0.6.

Pada percobaan diatas dapat diperhatikan bahwa, *range* frekuensi yang dimiliki *hammer tip* aluminium lebih besar 1500 Hz dari yang bisa dijangkau oleh *hammer tip* berbahan *plastic*. Ini dikarenakan kekerasan dari material *hammer tip* itu sendirilah yang ternyata paling berpengaruh terhadap *range* frekuensi yang bisa dijangkau dalam penelitian.



Gambar 4.2. Perbandingan *frequency range hammer tip*

Gambar 4.2 memperlihatkan bahwa pada hammer tip bermaterial plastic, pada kisaran 3500Hz, gaya yang dimiliki melemah. Hal serupa pun terjadi pada aluminium namun, terjadi pada kisaran 5000Hz. Dengan pertimbangan hasil analisa *software* terhadap frekuensi natural *Sandwich panel* yang akan dibahas pada sub-bab berikutnya dan tujuan penulis dalam menangkap sebanyak mungkin *mode* yang bisa terekam dalam pengujian, maka aluminium dipilih sebagai material yang digunakan sebagai *hammer tip* pada penelitian ini.

4.3. Hasil & Analisa Pengaruh set-up terhadap Frekuensi

Pengujian ini sangat penting karena kondisi material uji yang harus mengalami bongkar dan pasang secara berulang-ulang. Kegiatan bongkar pasang ini dimaksudkan ketika material ingin dicabut untuk dilakukan pembuatan cacat pada material inti tersebut. Pengujian dilakukan secara 3 kali dan pemasangan pertama sebagai variable control.

Tabel 4.5. Hasil pengujian pengulangan set-up *Sandwich panel*

| Set up- | Data ke- | Frekuensi Natural (Hz) | | Standart Deviasi | | Rata-rata \pm Standart Deviasi | |
|-----------|----------|------------------------|--------|------------------|--------|----------------------------------|---------------|
| | | mode 1 | mode 2 | mode 1 | mode 2 | mode 1 | mode 2 |
| 1 | 1 | 1839 | 2418 | 21 | 16 | 1857 ± 21 | 2436 ± 16 |
| | 2 | 1838 | 2419 | | | | |
| | 3 | 1834 | 2424 | | | | |
| 2 | 1 | 1888 | 2458 | | | | |
| | 2 | 1883 | 2457 | | | | |
| | 3 | 1884 | 2458 | | | | |
| 3 | 1 | 1870 | 2441 | | | | |
| | 2 | 1863 | 2443 | | | | |
| | 3 | 1868 | 2445 | | | | |
| 4 | 1 | 1838 | 2422 | | | | |
| | 2 | 1849 | 2423 | | | | |
| | 3 | 1834 | 2420 | | | | |
| Rata-rata | | 1857 | 2436 | | | | |

Tabel 4.5 menyajikan hasil pengujian bongkar-pasang yang dilakukan pada penelitian kali ini. Dapat dilihat, pemasangan dilakukan sebanyak 4 kali dengan 3 kali eksitasi hammer pada titik yang bisa dilihat pada gambar 3.15. Dapat dilihat bahwa perubahan frekuensi pasti terjadi, karena kekakuan keseluruhan struktur pasti berubah seiring di kendorkan-kencangkannya baut, terlebih peneliti hanya memasang dan melepas baut berdasarkan pengalaman saja.

Pada tabel 4.5, disampaikan bahwa simpangan yang terjadi pada seluruh percobaan adalah 21 Hz untuk mode 1 dan 16 Hz untuk mode 2. Angka tersebut menandakan rata-rata simpangan yang terjadi pada setiap percobaan. Dan bisa dikatakan bahwa perubahan rata-rata yang terjadi pada pengujian getaran adalah 1857 ± 21 untuk mode 1 dan 2436 ± 16 untuk mode 2. Sehingga bisa ditarik kesimpulan, kegiatan pemasangan dan pelepasan dari material uji *sandwich panel* memiliki pengaruh yang kurang signifikan terhadap hasil pengujian. Perubahan frekuensi tetap terdapat pada proses bongkar-pasang tetapi selisih yang terjadi terlampau kecil.

4.4. Pengujian Frekuensi Natural Dudukan

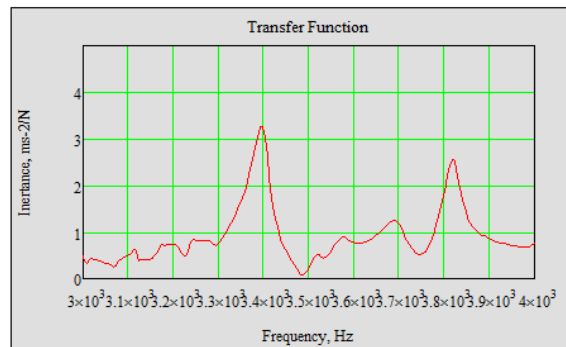
Pada pengujian kali ini, data yang diambil lebih banyak daripada pada pengujian sebelumnya (pengujian set-up). Maka perlu dianalisa tentang koherensi pada pengujian ini.

Tabel 4.6. Koherensi tiap titik pada pengujian frekuensi natural dudukan

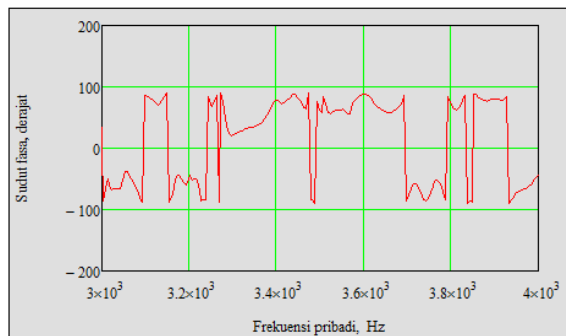
| Titik Eksitasi | Koherensi |
|----------------|-----------|
| A | 0.97 |
| B | 0.8 |
| C | 0.84 |
| D | 0.8 |
| Rata-rata | 0.86 |

Seperti yang terlihat pada tabel 4.6, koherensi rata-rata pada pengujian ini adalah 0.86. seperti yang telah dibahas pada bab sebelumnya, nilai koherensi yang mendekati 1 menunjukkan hasil yang semakin baik. Maka dari itu dapat diambil analisa kesimpulan bahwa, pada pengujian frekuensi struktur dudukan *Sandwich panel* ini, data yang diolah ini memiliki koherensi yang baik yaitu 0.86, artinya noise yang terdapat pada pengujian ini sedikit dan pengolahan data pada proses analisa sudah baik. Sehingga data yang didapat pada percobaan ini, bisa diolah lebih lanjut

Pengujian kali ini bertujuan untuk mencari frekuensi natural dudukan yang digunakan dalam pengujian kali ini. Pengujian dilakukan di 4 titik seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab 3.7.5. Ilustrasi pengujian juga bisa dilihat pada gambar 3.16. *Sandwich panel* yang digunakan pada pengujian kali ini adalah ukuran 4-35-4. Pengujian hanya dilakukan sekali, karena menurut hasil pada sub-bab 4.3, perlakuan bongkar dan pasang pada struktur, berpengaruh kecil terhadap frekuensi natural. Data yang diambil dalam pengujian ini sebanyak 12 eksitasi setiap titiknya. Kemudian dipilih 6 data yang baik untuk dilakukan kalkulasi frekuensi natural dari dudukan tersebut.



Gambar. 4.3. hasil eksitasi pada titik “D”



Gambar. 4.4. hasil sudut fase pada titik “D”

Gambar 4.3 menunjukkan hasil pengujian getaran pada dudukan pada titik D. Disebabkan karena desain dudukan tidak dilakukan proses analisa model, sehingga tidak didapat patokan akan prediksi frekuensi natural dari struktur ini. Maka proses identifikasi frekuensi natural dilihat melalui grafik transfer function. Transfer function merupakan ratio antara output dan input.

Pada grafik transfer function diatas dapat dilihat terdapat dua peak dominan. Sekitar 3400Hz dan 3800Hz. Proses pertama adalah identifikasi peak mana yang merupakan frekuensi natural. Ini bisa dilihat melalui sudut fase dari struktur tersebut. Perubahan sudut fase yang drastic dari positif ke negative maupun sebaliknya bisa menjadi indicator frekuensi natural struktur tersebut. Sehingga, merujuk pada gambar 4.4, dengan berubahnya sudut fase pada frekuensi sekitar 3800Hz, maka diambil kesimpulan bahwa peak sekitar 3800Hz lah yang menjadi frekuensi natural dari dudukan tersebut.

Tabel 4.7. Hasil identifikasi frekuensi natural pada setiap titi eksitasi

| Titik Eksitasi | Frekuensi Natural (Hz) |
|----------------|------------------------|
| A | 3822 |
| B | 3823 |
| C | 3812 |
| D | 3818 |
| Rata-rata | 3818 |

Tabel 4.7 Menunjukkan data pegujian yang dilakukan pada ke empat titik eksitasi. Pada tabel tersebut, pergeseran frekuensi pasti terjadi, walaupun tidak terlihat. Tetapi masih dalam kisaran sekitar 3800Hz. Berdasarkan perhitungan rata-rata, maka dapat diambil kesimpulan bahwa, frekuensi natural yang dimiliki oleh dudukan adalah 3818 Hz.

Kemudian pada tahap selanjutnya, dilakukan pengujian sudut fase. Pengujian sudut fase ini dilakukan dengan membandingkan sudut fase yang terjadi antara dudukan dengan *sandwich panel*. Berikut adalah hasil sudut fase tersebut.

Tabel 4.8 Tabel sudut fase pengujian frekuensi natural dudukan

| No | Material | Sudut fase (derajat) |
|----|-----------------------|----------------------|
| 1 | <i>Sandwich panel</i> | 88.8 |
| 2 | Titik Eksitasi A | 87.5 |
| 3 | Titik Eksitasi B | 86 |
| 4 | Titik Eksitasi C | 85 |
| 5 | Titik Eksitasi D | 83 |

Sesuai tabel 4.8, dapat dilihat bahwa hasil pengukuran sudut fase berada pada derajat yang sama, sekitar 85°. Meskipun terdapat selisih sudut fase yang terjadi, hal ini tidak berpengaruh terhadap proses analisa sudut fase. Jika di analisa lebih lanjut, semua data sudut fase yang diperoleh berapa pada nilai yang sama, yaitu positif. Nilai yang sama ini mengindikasikan bahwa antara material *sandwich panel* dan struktur dudukan percobaan bergerak pada arah yang sama di frekuensi tersebut. Pengolahan data ini berdasarkan frekuensi natural dudukan yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya.

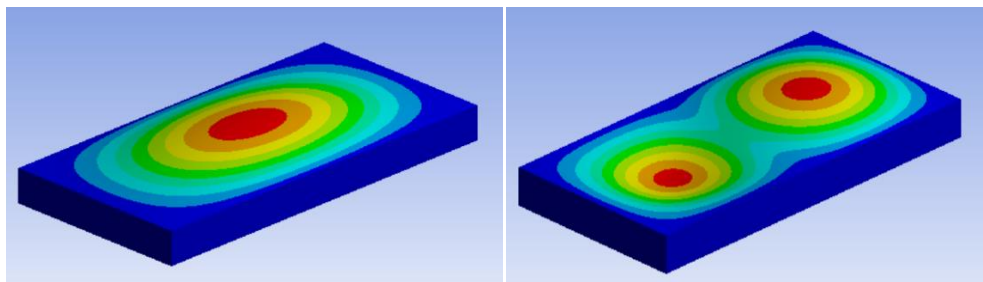
Pergerakan dukungan dan material pada arah yang sama, menyatakan bahwa sambungan antara material dan *sandwich panel* sudah cukup kaku atau rigid. Sambungan yang rigid ini, menandakan bahwa desain dukungan sebagai alat penjepit panel dari keempat sisinya dinyatakan baik. Dan struktur ini bisa digunakan dalam pengujian getaran *sandwich panel* yang akan dibahas pada sub bab selanjutnya.

4.5. Hasil & Analisis Getaran Material *Sandwich panel* Utuh

Pada tahap ini dilakukan beberapa proses penelitian terkait *modal analysis* untuk material *Sandwich panel* dengan kondisi utuh, atau tanpa kecacatan. Analisa yang pertama menggunakan metode *pemodelan*. Hasil dari *pemodelan* tersebut, menjadi sarana informasi dalam mengidentifikasi hasil pengujian berikutnya, yaitu pengujian eksperimental. berikut adalah sub-bab – sub-bab yang berkaitan dengan hasil dan analisa dari proses penelitian kali ini

4.5.1. Hasil Analisa Pemodelan *Sandwich panel* Utuh

Analisa menggunakan analisa *pemodelan* dilakukan selain sebagai referensi dalam proses verifikasi, juga bertujuan untuk memudahkan dalam proses identifikasi dalam *spectrum* hasil pengujian eksperimental.

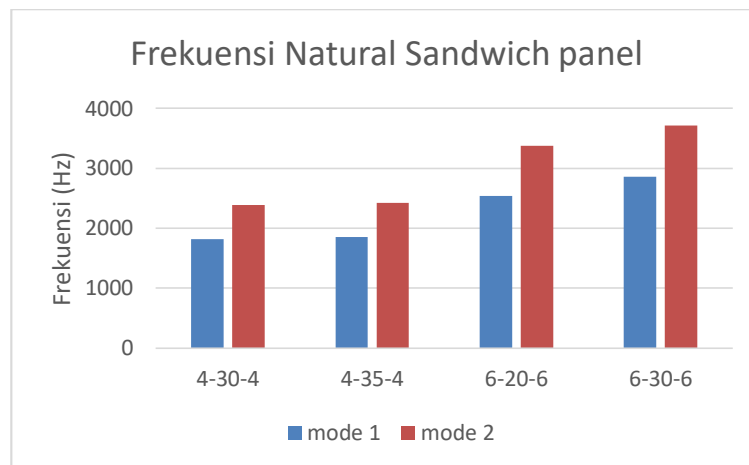


Gambar 4.5. *Mode* getaran yang terjadi pada panel *mode* 1(kiri), *mode* 2(kanan).

Pada percobaan kali ini, *mode* getaran yang diidentifikasi hanya dibatasi hingga *mode* ke-2. Ini dilakukan sebagai pembantu dalam proses identifikasi frekuensi natural dan sebagai verifikasi hasil frekuensi natural yang didapat dalam pengujian eksperimental *sandwich panel*. Berikut ini merupakan hasil analisa *pemodelan* dari *sandwich panel* utuh tanpa adanya cacat.

Tabel 4.9. Hasil *Modal Analysis* menggunakan *Pemodelan* pada *sandwich panel* utuh

| Dimensi Material | Frekuensi Natural(Hz) | |
|------------------|-----------------------|---------------|
| | <i>mode 1</i> | <i>mode 2</i> |
| 4-30-4 | 1814 | 2390 |
| 4-35-4 | 1849 | 2425 |
| 6-20-6 | 2535 | 3374 |
| 6-30-6 | 2856 | 3712 |



Gambar 4.6. Hasil frekuensi natural dengan metode analisa *model* pada *sandwich panel* utuh

Gambar 4.6 merupakan hasil *modal analysis* pada *sandwich panel* menggunakan *pemodelan*. Dapat dilihat pada gambar diatas, pada semua ukuran *faceplate* ditemukan tren yang sama, yaitu jika semakin tinggi bentuk *mode* sebuah getaran, frekuensi natural akan semakin tinggi juga. Hal ini disebabkan karena bentuk displacement material yang terjadi menjadi semakin kompleks. Bentuk yang kompleks ini menyebabkan material pergerakan material semakin kaku. Kekakuan material yang bertambah akan menyebabkan frekuensi natural yang dimiliki akan semakin tinggi.

Pada *faceplate* dengan ketebalan 4 mm, jika diteliti lebih lanjut sesuai tabel 4.10, dengan bertambahnya ketebalan *core*, frekuensi yang dimiliki juga semakin bertambah tinggi. Tren yang sama juga dimiliki oleh plat 6mm. Ini menunjukkan bahwa material inti *sandwich panel* menambahkan kekakuan pada keseluruhan

struktur *sandwich panel*. kekakuan dari suatu material yang bertambah, akan mengakibatkan frekuensi yang dimiliki oleh material tersebut juga bertambah. Pada material inti dengan ketebalan yang sama, yaitu 30mm, namun dengan *face plate* yang berbeda, 4 dan 6 mm, frekuensi yang dimiliki oleh plat sangatlah berbeda jauh dengan perbedaan hingga 914 Hz. Penyebab hal ini adalah *faceplate* yang jauh lebih kaku daripada material inti.

Kekakuan *faceplate* yang berbeda jauh dengan inti menyebabkan dengan hanya penambahan ketebalan total sekitar 4mm, kekakuan material naik sangat tinggi. Dibandingkan dengan hasil pada *faceplate* ketebalan 4 mm, dengan penambahan ketebalan 5 mm, hasil yang didapat tidak begitu signifikan, dan dapat dikatakan konstan.

4.5.2. Hasil & Analisis Nilai Koherensi *Sandwich panel Utuh*

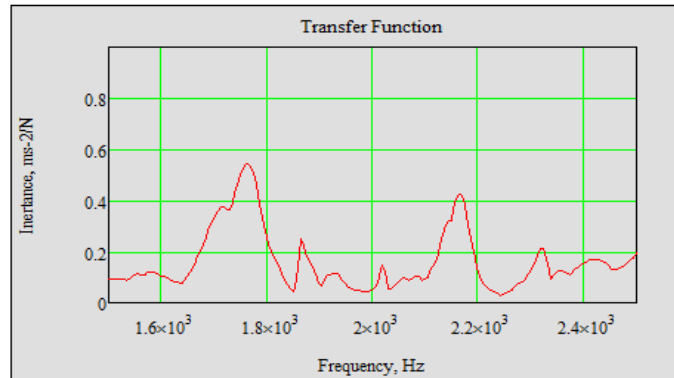
Nilai koherensi sangat penting untuk dianalisa, ini berhubungan dengan kualitas data dan kualitas hasil pengujian. Seperti yang telah dipaparkan sebelumnya, koherensi berskala mulai 1 hingga 0. Skala 1 melambangkan ke linieritas an data antara *input* dan *output*. Dan hasil yang semakin mendekati angka nol menyatakan bahwa semakin banyak *noise* yang terekam dalam pengujian atau pengolahan data yang kurang tepat.

Tabel 4.10. Nilai koherensi dalam pengujian *Sandwich panel utuh*

| Dimensi Material | Nilai Koherensi Rata-rata | | rata-rata |
|------------------|---------------------------|---------------|-----------|
| | <i>mode 1</i> | <i>mode 2</i> | |
| 4-30-4 | 0.97 | 0.94 | 0.95 |
| 4-35-4 | 0.96 | 0.92 | 0.94 |
| 6-20-6 | 0.95 | 0.92 | 0.94 |
| 6-30-6 | 0.89 | 0.89 | 0.89 |

Nilai koherensi yang didapat pada tabel 4.11 diolah menggunakan formula 2.17. Dengan hasil secara keseluruhan mendekati nilai 1, ini menunjukkan keseluruhan data yang diambil dan diolah sudah relevan dan mampu digunakan dalam proses analisa. Serta tidak perlu dilakukan pengambilan data maupun pengolahan data ulang.

4.5.3 Hasil & Analisis Pengujian Getaran *Sandwich panel* Utuh



Gambar 4.7 Contoh hasil pengolahan data pada pengujian getaran

Pengambilan data dalam pengujian ekperimental getaran ini menggunakan dua titik eksitasi pada material dan setiap titiknya dilakukan tiga titik penempatan *accelerometer*, untuk ilustrasi lebih jelas dapat dilihat pada gambar 3.17 dan 3.18. Setiap titik pengambilan data dilakukan 12 kali eksitasi dan menghasilkan 12 sepektrum getaran dalam time domain. Setelah itu dipilih 6 data terbaik untuk diolah menjadi time domain. Kategori data yang baik dalam proses pemilihan adalah jika sinyal yang diterima oleh *software analyzer* tidak mengalami *overload* baik dari *hammer* maupun *accelerometer*. Berikut adalah hasil dari pengujian ekseprimental getaran.

Tabel 4.11. Hasil pengujian getaran *sandwich panel* utuh untuk *faceplate* 4mm

| Dimensi Material | Titik eksitasi | Posisi acc | Frekuensi Natural (Hz) | |
|------------------|----------------|------------|------------------------|---------------|
| | | | <i>mode 1</i> | <i>mode 2</i> |
| 4-30-4 | 1 | A | 1829 | 2424 |
| | | B | 1833 | 2428 |
| | | C | 1844 | 2423 |
| | 2 | A | 1819 | 2408 |
| | | B | 1839 | 2423 |
| | | C | 1829 | 2433 |
| | Rata-rata | | 1832 | 2423 |
| 4-35-4 | 1 | A | 1890 | 2403 |
| | | B | 1883 | 2398 |
| | | C | 1893 | 2403 |
| | 2 | A | 1929 | 2453 |
| | | B | 1895 | 2458 |
| | | C | 1884 | 2443 |
| | Rata-rata | | 1895 | 2426 |

Tabel 4.11 menunjukkan rangkuman data dari pengujian yang dilakukan pada *faceplate* dengan ketebalan 4mm. Sesuai rata-rata, terdapat kesamaan tren yang dimiliki pada hasil pengujian dan analisa *software*. Dapat dilihat pada rata-rata kedua ukuran tersebut, frekuensi yang dimiliki oleh plat dengan ketebalan inti yang lebih tebal lebih tinggi. Serta semakin tinggi *mode* yang diidentifikasi, frekuensi yang dimiliki juga semakin tinggi.

Tabel 4.12. Hasil pengujian getaran *sandwich panel* utuh untuk *faceplate* 6mm

| Dimensi Material | Titik eksitasi | Posisi acc | Frekuensi Natural (Hz) | |
|------------------|----------------|------------|------------------------|---------------|
| | | | <i>mode</i> 1 | <i>mode</i> 2 |
| 6-20-6 | 1 | A | 2489 | 3303 |
| | | B | 2493 | 3298 |
| | | C | 2493 | 3308 |
| | 2 | A | 2493 | 3328 |
| | | B | 2493 | 3303 |
| | | C | 2494 | 3298 |
| | Rata-rata | | 2492.5 | 3306 |
| 6-30-6 | 1 | A | 2968 | 3570 |
| | | B | 2978 | 3563 |
| | | C | 2978 | 3563 |
| | 2 | A | 2978 | 3566 |
| | | B | 2978 | 3563 |
| | | C | 2973 | 3557 |
| | Rata-rata | | 2975.5 | 3564 |

Tabel 4.12 menunjukkan hasil pengujian getaran pada *face plate* 6 mm. Secara keseluruhan, tren yang dimiliki oleh *sandwich panel* 4mm dan 6mm sama. Semakin tebal material inti, frekuensi natural yang dimiliki pun juga semakin tinggi. Dan semakin tinggi sebuah *mode* getaran, juga semakin tinggi frekuensi natural yang dimiliki.

Pada tabel 4.12 dan 4.13 pada ukuran *core* yang sama 30 mm dengan *faceplate* yang berbeda, hasil yang didapat pada pengujian memiliki pola yang sama. Perubahan frekuensi natural yang drastis pada *faceplate* 6mm dibandingkan dengan 4mm. Alasan yang sama dengan hasil *software* juga dimiliki oleh pengujian

ini, yaitu kekakuan *faceplate* yang lebih tinggi dibandingkan *core* sehingga menyebabkan perubahan frekuensi natural yang drastis.

4.5.4. Hasil & Analisis *Damping ratio Sandwich panel Utuh*

Karakteristik dinamis lainnya yang perlu diidentifikasi adalah *damping ratio*. Yaitu kemampuan material dalam meredam suatu getaran. Pengolahan data menggunakan metode estimasi dengan formula 2.11.

Tabel 4.13. Data *damping ratio sandwich panel* utuh tiap titik eksitasi.

| Dimensi Material | Titik eksitasi | Posisi acc | ζ_r (%) | rata-rata (%) |
|------------------|----------------|------------|---------------|---------------|
| 4-30-4 | 1 | A | 0.261 | 0.242 |
| | | B | 0.308 | |
| | | C | 0.385 | |
| | 2 | A | 0.108 | |
| | | B | 0.154 | |
| | | C | 0.232 | |
| 4-35-4 | 1 | A | 0.458 | 0.555 |
| | | B | 0.457 | |
| | | C | 0.461 | |
| | 2 | A | 0.485 | |
| | | B | 0.853 | |
| | | C | 0.615 | |
| 6-20-6 | 1 | A | 0.161 | 0.160 |
| | | B | 0.120 | |
| | | C | 0.200 | |
| | 2 | A | 0.200 | |
| | | B | 0.140 | |
| | | C | 0.140 | |
| 6-30-6 | 1 | A | 0.556 | 0.700 |
| | | B | 0.803 | |
| | | C | 0.755 | |
| | 2 | A | 0.672 | |
| | | B | 0.588 | |
| | | C | 0.826 | |

Tabel 4.13 merupakan data *damping ratio* yang dibuat setiap titik *accelerometer* pada pengujian. Semakin tinggi *ratio* yang dimiliki sebuah material, maka semakin bagus materia itu dalam meredam getaran. Perbandingan pada

faceplate 4mm menunjukkan bahwa semakin bertambah ketebalan inti, *damping* yang diberikan juga semakin besar. Begitu juga dengan *faceplate* 6mm, juga terdapat tren yang sama. Pada perbandingan material 4-30-4 dan 6-30-6, *damping* yang dimiliki material dengan *face plate* lebih besar bernilai lebih tinggi.

Tetapi pada perbandingan material 4-35-4 dan 6-30-6, walaupun dengan *faceplate* yang lebih tebal, tetapi *damping ratio* yang dimiliki oleh 4-35-4 hampir menyamai 6-30-6. Ini membuktikan bahwa material *core* pada *sandwich panel* berpengaruh cukup signifikan pada kemampuan suatu material *sandwich* dalam meredam getaran. Dengan *damping ratio* yang lebih besar, menyebabkan amplitudo yang terjadi pada suatu struktur yang terkena getaran menjadi lebih kecil. Dengan amplitudo yang kecil, umur material akan semakin panjang.

4.5.5. Verifikasi Hasil Pengujian *Sandwich panel* Utuh

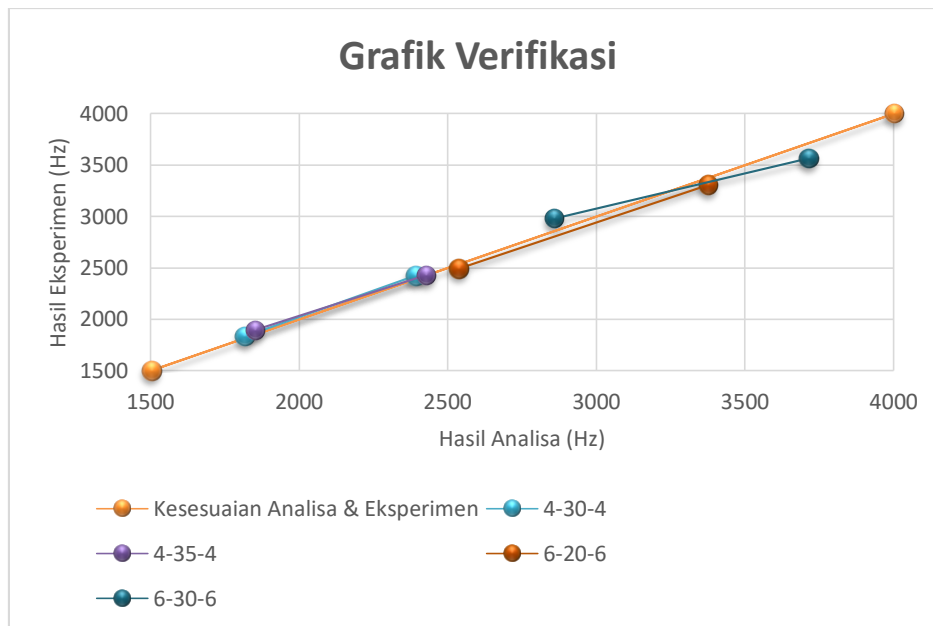
Proses verifikasi hasil merupakan proses membandingkan kedua hasil pengujian antara analitik dengan ekperimental. Hasil ekperimental merupakan *variable control* dari proses verifikasi ini, karena hasil ekperimental merupakan hasil yang berasal dari keadaan sesungguhnya, bukan keadaan ideal dari hasil analisa *pemodelan*.

Tabel 4.14. Perbandingan Analisa *Model* & Percobaan Experimen pada *sandwich panel* utuh

| Dimensi Material | Analisa (Hz) | | Percobaan Experimen (Hz) | | Perbedaan (Hz) | | | |
|------------------|---------------|---------------|--------------------------|---------------|----------------|---------------|-------------------|-------------------|
| | <i>mode</i> 1 | <i>mode</i> 2 | <i>mode</i> 1 | <i>mode</i> 2 | <i>mode</i> 1 | <i>mode</i> 2 | <i>mode</i> 1 (%) | <i>mode</i> 2 (%) |
| 4-30-4 | 1814 | 2390 | 1832 | 2423 | 18 | 33 | 0.99 | 1.37 |
| 4-35-4 | 1849 | 2425 | 1896 | 2426 | 47 | 1 | 2.46 | 0.05 |
| 6-20-6 | 2535 | 3374 | 2493 | 3306 | -43 | -68 | -1.71 | -2.05 |
| 6-30-6 | 2856 | 3712 | 2976 | 3564 | 120 | -148 | 4.02 | -4.16 |
| Rata-rata | | | | | 35 | -45 | 1 | -1 |

Secara keseluruhan percobaan, tren yang dimiliki antara analisa *model* dan percobaan experiment adalah sama. Semakin tebal material inti, maka frekuensi akan naik. Begitu juga pengaruh ketebalan *faceplate*, semakin tebal *faceplate* material *sandwich panel* semakin tinggi juga frekuensi natural yang dimiliki oleh material *sandwich panel* tersebut. Perubahan tren yang sama ini membuktikan,

penggunaan analisa pemodelan dalam pengujian *modal analysis* untuk *sandwich panel* tanpa cacat dinilai baik dan dapat diandalkan.



Gambar 4.8. Grafik verifikasi Hasil pengujian *sandwich panel* utuh

Gambar 4.8. menunjukkan grafik verifikasi pada pengujian kali ini. Garis yang lurus berwarna orange adalah garis yang melambangkan perbandingan kesesuaian hasil dengan perbedaan 0%. Sumbu x merupakan hasil analisa *model* dan nilai y merupakan hasil eksperimental. Titik pertama pada setiap garis melambangkan *mode 1* dan titik kedua merepresentasikan hasil *mode 2*. Pembacaan grafik ini sangatlah sederhana. Jika hasil yang dilakukan pada pengujian eksperimen dan analitik mempunyai perbedaan yang kecil, garis hasil akan semakin mendekati garis orange. Begitu pun sebaliknya, jika perbedaan yang terjadi semakin besar, maka garis hasil per dimensi akan semakin menjauh.

4.6. Hasil & Analisis Getaran Material *Sandwich panel* dengan Cacat Sebagian

Sebagai salah satu fungsi dari *modal analysis* yaitu pendeteksian kerusakan, maka tahapan selanjutnya dalam percobaan ini adalah menggunakan cacat yang terukur sebagai pemanfaatan *modal analysis* dalam pendeteksian cacat. Yang dimaksud dengan cacat sebagian pada sub bab ini adalah cacat yang di berikan pada material *sandwich panel* pada bagian *core*nya dengan panjang cacat sama dengan

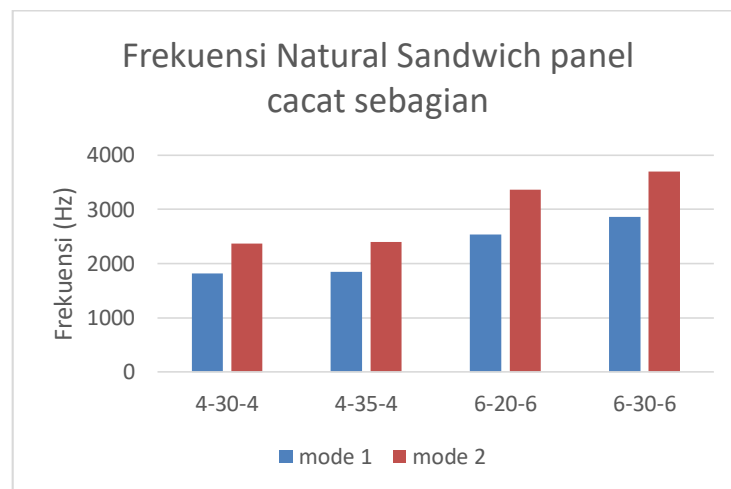
setengah ketebalan inti dari *core* tersebut. Untuk gambar lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 3.10.

4.6.1. Hasil Analisa Pemodelan *Sandwich panel* dengan Cacat Sebagian

Proses analisa *pemodelan* terlebih dahulu dilakukan. Hasil dari proses analisa ini akan menjadi rujukan dalam proses identifikasi pada pengujian ekperimental, sesuai langkah pengujian yang telah dilakukan pada material *sandwich panel* utuh.

Tabel 4.15. Hasil Analisa Pemodelan untuk *Sandwich panel* cacat sebagian

| Dimensi Material | Frekuensi Natural (Hz) | |
|------------------|------------------------|---------------|
| | <i>mode 1</i> | <i>mode 2</i> |
| 4-30-4 | 1813 | 2368 |
| 4-35-4 | 1849 | 2400 |
| 6-20-6 | 2537 | 3365 |
| 6-30-6 | 2864 | 3698 |



Gambar 4.9. Hasil frekuensi natural dengan metode analisa *model sandwich panel* cacat sebagian

Berdasarkan hasil analisa *pemodelan* yang dilakukan, yang disajikan pada tabel 4.15 dan gambar 4.9 menunjukkan bahwa tren yang dimiliki oleh material *sandwich panel* cacat sebagian adalah sama dengan material *sandwich panel* utuh.

Tren yang dimaksud adalah bersamaan dengan penambahan ketebalan pada material inti, frekuensi natural pun akan bertambah naik. Hal ini terdapat pada plat dengan *faceplate* 4 mm maupun 6 mm. Walaupun kenaikan pada plat 4 mm kurang

signifikan, tapi perbedaan frekuensi natural tetap ada. Tren lainnya yang serupa adalah kenaikan frekuensi natural yang terjadi dengan penambahan ketebalan pada *faceplate*. Dengan penambahan ketebalan *faceplate* 2 mm pada setiap sisinya, menyebabkan perubahan frekuensi natural dengan selisih hingga 1330 Hz pada *mode* kedua antara plat (4-30-4) dan (6-30-6). Perubahan yang besar ini disebabkan pengaruh material *faceplate* yang lebih kaku dibandingkan dengan material inti. Sehingga, hanya dengan penambahan 4 mm, frekuensi yang dimiliki bisa berubah signifikan.

4.6.2. Hasil & Analisis Nilai Koherensi *Sandwich panel* dengan Cacat Sebagian

Pada tahapan awal analisa hasil pengujian eksperimen getaran, dilakukan analisa tentang koherensi yang terjadi pada frekuensi natural. Proses ini menentukan apakah data yang didapat sudah linier dengan input dan apakah *noise* yang terdapat pada pengujian sudah dirasa seminimal mungkin. Berikut adalah hasil dari pengolahan data koherensi.

Tabel 4.16. Nilai Koherensi pengujian *sandwich panel* cacat sebagian

| Dimensi Material | Nilai Koherensi Rata-rata | | Rata-rata |
|------------------|---------------------------|---------------|-----------|
| | <i>mode</i> 1 | <i>mode</i> 2 | |
| 4-30-4 | 0.97 | 0.95 | 0.96 |
| 4-35-4 | 0.94 | 0.93 | 0.93 |
| 6-20-6 | 0.98 | 0.95 | 0.96 |
| 6-30-6 | 0.94 | 0.90 | 0.92 |

Berdasarkan data pada tabel 4.16, nilai rata-rata yang didapat secara keseluruhan berada diatas nilai 0.9. Dengan teori yang dijelaskan pada bab 2 yang secara garis besar menyartakan bahwa dengan nilai koherensi yang mendekati angka 1 menunjukkan kelinieritasan data antara input dan output, atau dalam arti lain, *noise* yang masuk dalam percobaan tersebut sedikit dan system pengolahan data yang sudah baik, maka dalam percobaan kali ini dapat ditarik kesimpulan bahwa data hasil pengujian yang didapat sudah baik dan dapat digunakan dalam proses analisa selanjutnya.

4.6.3. Hasil & Analisis Pengujian Getaran *Sandwich panel* dengan Cacat Sebagian

Proses pengambilan data pada pengujian getaran *sandwich panel* cacat sebagian ini sama dengan proses pada material utuh. Urutan-urutan pekerjaan dan parameter yang diambil pun sama. Pengujian dilakukan pada 2 titik eksitasi dengan 3 titik *accelerometer* pada tiap titik eksitasinya. Hasil pengujian getaran dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.17. Hasil pengujian getaran *sandwich panel* cacat sebagian untuk *faceplate* 4mm

| Dimensi Material | Titik eksitasi | Posisi acc | Frekuensi Natural (Hz) | |
|------------------|----------------|------------|------------------------|---------------|
| | | | <i>mode 1</i> | <i>mode 2</i> |
| 4-30-4 | 1 | A | 1823 | 2331 |
| | | B | 1840 | 2333 |
| | | C | 1835 | 2333 |
| | 2 | A | 1824 | 2328 |
| | | B | 1833 | 2333 |
| | | C | 1830 | 2339 |
| | Rata-rata | | 1830.833 | 2333 |
| 4-35-4 | 1 | A | 1889 | 2319 |
| | | B | 1888 | 2314 |
| | | C | 1883 | 2313 |
| | 2 | A | 1888 | 2443 |
| | | B | 1889 | 2318 |
| | | C | 1889 | 2318 |
| | Rata-rata | | 1887.667 | 2338 |

Tabel 4.18. Hasil pengujian getaran *sandwich panel* cacat sebagian untuk *faceplate* 6mm

| Dimensi Material | Titik eksitasi | Posisi acc | Frekuensi Natural (Hz) | |
|------------------|----------------|------------|------------------------|---------------|
| | | | <i>mode 1</i> | <i>mode 2</i> |
| 6-20-6 | 1 | A | 2463 | 3208 |
| | | B | 2488 | 3218 |
| | | C | 2488 | 3213 |
| | 2 | A | 2487 | 3203 |
| | | B | 2489 | 3208 |
| | | C | 2483 | 3200 |
| | Rata-rata | | 2483 | 3208 |

| | | | | |
|--------|-----------|---|------|------|
| 6-30-6 | 1 | A | 2978 | 3472 |
| | | B | 2973 | 3473 |
| | | C | 2978 | 3488 |
| | 2 | A | 2968 | 3437 |
| | | B | 2943 | 3438 |
| | | C | 2938 | 3478 |
| | Rata-rata | | 2963 | 3464 |

Pada tabel 4.17 dan tabel 4.18 merupakan data pengujian getaran pada material *sandwich panel* cacat sebagian. Secara keseluruhan, konsistensi data dan pola yang dimiliki oleh material *sandwich panel* cacat sebagian ini masih sama dengan yang didapat pada material utuh. Kenaikan frekuensi akibat perbedaan ketebalan material inti dan *faceplate* masih menjadi pola utama dari hasil penelitian kali ini. Penambahan material pada plat (4-30-4) dan (6-30-6) merupakan kenaikan yang paling signifikan, alasan yang sama dikemukakan, bahwa pengaruh penambahan ketebalan *faceplate* yang notabene jauh lebih kaku dibandingkan dengan material *core* pada keseluruhan *sandwich panel* mengakibatkan kenaikan frekuensi yang tajam hingga 1131 Hz.

Jika dianalisa lebih lanjut, perubahan penambahan frekuensi tetap terjadi pada material dengan cacat ini. Walaupun *core* material sudah terdapat cacat dan terdapat penurunan kekakuan dari *core* itu sendiri, tetapi jika ketebalan material bertambah, frekuensi material tersebut juga naik. Kesimpulan yang dapat diambil dari percobaan ini adalah, pembuatan cacat pada material uji ini sudah seragam antar plat dengan *faceplate* 4mm, ini dibuktikan dengan kelinieran hasil antara plat utuh dengan cacat. Sehingga, metode pembuatan cacat yang digunakan hingga tahapan penelitian ini dapat digunakan pada tahapan penelitian selanjutnya pada material *sandwich* cacat sebagian yang akan diuji.

4.6.4. Hasil & Analisis *Damping ratio Sandwich panel* dengan Cacat Sebagian

Pada pengujian material *sandwich* cacat sebagian ini juga dilakukan proses analisa pada *damping ratio*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana cacat pada material inti *sandwich panel* berdampak pada kemampuan material dalam meredam getaran. Berikut adalah hasil analisa dari percobaan kali ini.

Tabel 4.19 Data *damping ratio sandwich panel* cacat sebagian

| Dimensi Material | Titik eksitasi | Posisi acc | ζ_r (%) | Rata-rata (%) |
|------------------|----------------|------------|---------------|---------------|
| 4-30-4 | 1 | A | 0.214 | 0.225 |
| | | B | 0.279 | |
| | | C | 0.257 | |
| | 2 | A | 0.172 | |
| | | B | 0.214 | |
| | | C | 0.213 | |
| 4-35-4 | 1 | A | 0.588 | 0.522 |
| | | B | 0.515 | |
| | | C | 0.515 | |
| | 2 | A | 0.442 | |
| | | B | 0.575 | |
| | | C | 0.501 | |
| 6-20-6 | 1 | A | 0.125 | 0.112 |
| | | B | 0.093 | |
| | | C | 0.093 | |
| | 2 | A | 0.109 | |
| | | B | 0.140 | |
| | | C | 0.109 | |
| 6-30-6 | 1 | A | 0.389 | 0.56 |
| | | B | 0.561 | |
| | | C | 0.572 | |
| | 2 | A | 0.755 | |
| | | B | 0.595 | |
| | | C | 0.489 | |

Tabel 4.19 merupakan hasil pengolahan data mengenai *damping ratio* pada pengujian kali ini. Diketahui, dengan *damping ratio* yang semakin tinggi, kemampuan material dalam meredam getaran juga semakin baik. Kemampuan meredam getaran yang baik dapat membuat amplitudo pada getaran akan semakin kecil. Perlu dicatat bahwa *damping ratio* tidak mengubah frekuensi yang terjadi. Dapat dilihat diatas, bahwa seiring dengan penambahan ketebalan dari material baik secara keseluruhan *sandwich panel* maupun hanya penambahan ketebalan pada *faceplate* atau material intinya saja berakibat kenaikan pada *damping ratio*. Ini membuktikan bahwa semakin tebal *sandwich panel* tersebut, maka kemampuan *sandwich panel* dalam meredam getaran juga semakin baik.

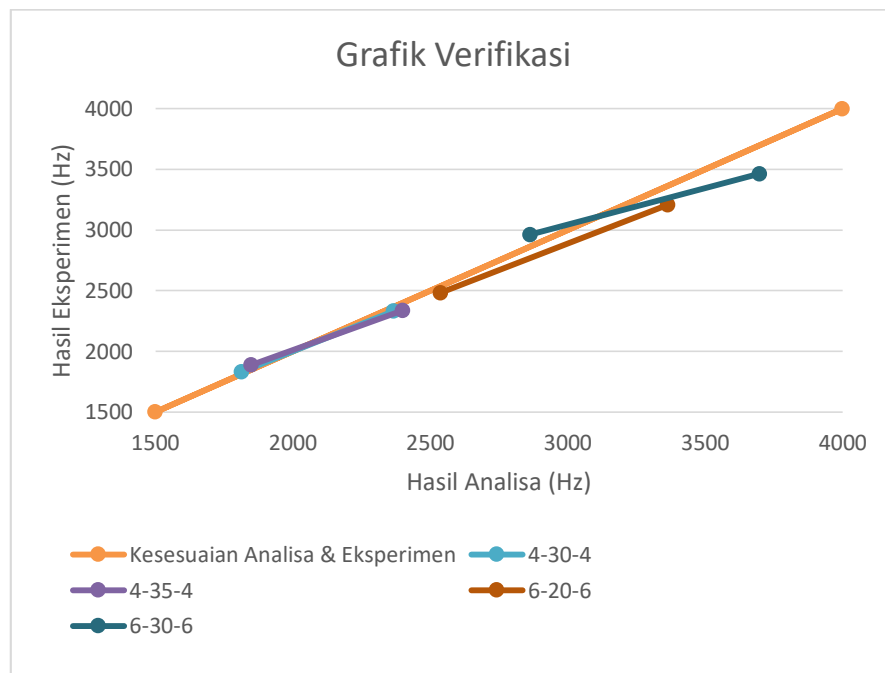
Tetapi bila di analisa lebih lanjut, material dengan dimensi 4-35-4 dan 6-30-6 memiliki *damping ratio* yang hamper sama. Selisih diantara keduanya hanya 0.0003. Dari data ini dapat dianalisa, bahwa walaupun dengan ketebalan *faceplate* yang lebih tipis, tetapi dengan ketebalan *core* yang lebih tebal, kemampuan *damping ratio* yang dimiliki material tersebut lebih tinggi. Perbandingan yang lebih terlihat mencolok pada plat ukuran 4-30-4 dan 6-20-6. Walaupun *faceplate* pada *sandwich* (6-20-6) lebih tebal 4 mm, tapi dengan perbedaan ketebalan *core* hingga 10 mm, *damping ratio* yang dimiliki oleh plat 4-30-4 lebih tinggi dua kali lipat dibandingkan dengan *sandwich panel* berdimensi 6-20-6. Dari percobaan ini dapat disimpulkan bahwa, kemampuan *sandwich panel* dalam meredam getaran yang terjadi lebih banyak dipengaruhi oleh dimensi ketebalan dari material inti *sandwich panel* tersebut.

4.6.5. Verifikasi Hasil Pengujian *Sandwich panel* dengan Cacat Sebagian

Tabel 4.20. Perbandingan Hasil pengujian *sandwich panel* cacat sebagian

| Dimensi Material | Analisa (Hz) | | Percobaan Experimen (Hz) | | Perbedaan | | | |
|------------------|---------------|---------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|-------------------|
| | <i>mode</i> 1 | <i>mode</i> 2 | <i>mode</i> 1 | <i>mode</i> 2 | <i>mode</i> 1 | <i>mode</i> 2 | <i>mode</i> 1 (%) | <i>mode</i> 2 (%) |
| 4-30-4 | 1813 | 2368 | 1831 | 2333 | 18 | -35 | 0.97406 | -1.51 |
| 4-35-4 | 1849 | 2400 | 1888 | 2338 | 39 | -63 | 2.04838 | -2.67 |
| 6-20-6 | 2537 | 3365 | 2483 | 3208 | -54 | -157 | -2.1748 | -4.88 |
| 6-30-6 | 2864 | 3698 | 2963 | 3464 | 99 | -234 | 3.34121 | -6.74 |
| Rata-rata | | | | | 25 | -122 | 1 | -4 |

Secara keseluruhan percobaan, pola yang dimiliki antara analisa *pemodelan* dan percobaan *experiment* adalah sama. Semakin tebal material inti, maka frekuensi akan naik. Begitu juga pengaruh ketebalan *faceplate*, semakin tebal *faceplate* material *sandwich panel* semakin tinggi juga frekuensi natural yang dimiliki oleh material *sandwich panel* tersebut.



Gambar 4.10. Grafik verifikasi percobaan *sandwich panel* cacat sebagian

Pada gambar 4.10 garis lurus orange melambangkan kesesuaian dengan perbedaan antara analisa dan eksperimen 0%. Dengan menjauhnya grafik hasil per material, melambangkan perbedaan hasil yang lebih besar juga, begitu juga sebaliknya. Terlihat pada gambar, material 6-30-6 memiliki grafik yang paling menyimpang dari grafik orange. Presentase perbedaan yang dimiliki material 6-30-6 sebesar -6.74%

4.7. Hasil & Analisis Getaran Material *Sandwich panel* dengan Cacat Penuh

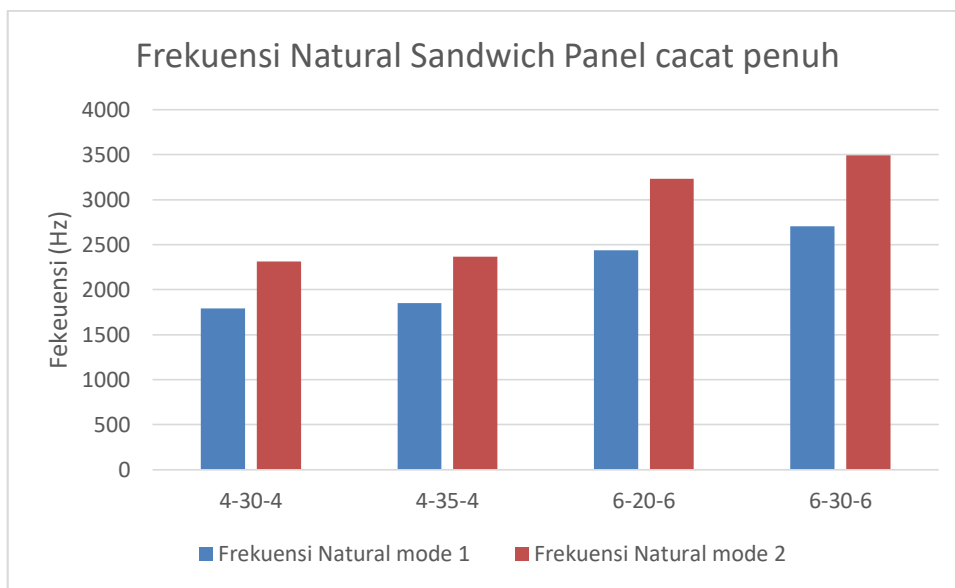
Pada sub bab ini akan disajikan dan dilakukan analisa mengenai hasil pengujian getaran, baik analitik maupun eksperimen yang dilakukan pada *Sandwich panel* dengan cacat penuh. Yang dimaksud dengan *sandwich panel* dengan cacat penuh adalah *sandwich panel* yang dilakukan perlakuan pembuatan cacat pada material intinya dengan panjang cacat sama dengan ketebalan material inti tersebut. Cacat dibuat sepanjang lebar dari material uji. Untuk lebih jelas tentang hal ini, bisa dilihat pada gambar 3.10.

4.7.1. Hasil Analisis Pemodelan *Sandwich panel* dengan Cacat Penuh

Pada tahapan pengujian, analisa *model* dilkakukan terlebih dahulu. Ini bertujuan agar nilai dari hasil analisa *model* bisa membantu dalam proses identifikasi dalam penelitian. Proses identifikasi yang dimaksud adalah identifikasi dalam pemilihan gelombang yang merepresentasikan frekuensi natural dari *sandwich panel* yang akan diuji.

Tabel 4.21. Hasil analisis pemodelan *sandwich panel* cacat penuh

| Dimensi Material | Frekuensi Natural | |
|------------------|-------------------|--------|
| | mode 1 | mode 2 |
| 4-30-4 | 1794 | 2317 |
| 4-35-4 | 1854 | 2369 |
| 6-20-6 | 2436 | 3234 |
| 6-30-6 | 2703 | 3493 |



Gambar 4. 11. Hasil frekuensi natural dengan metode analisa *model sandwich panel* cacat penuh

Pada gambar 4.11, bar berwarna biru menunjukkan nilai frekuensi natural yang diperoleh pada *mode* 1, sedangkan bar merah menunjukkan hasil *mode* 2. Secara umum, hasil analisa pemodelan pola frekuensi natural yang dimiliki oleh *sandwich panel* cacat penuh serupa dengan *sandwich panel* utuh dan cacat sebagian.

Pada *faceplate* 4mm, konsistensi frekuensi natural yang nota bene tidak mengalami perubahan baik *mode* 1 maupun *mode* 2. Sedangkan pada *faceplate* 6mm, terjadi kenaikan frekuensi seiring kenaikan dari ketebalan inti *sandwich panel*. Penambahan ini diakibatkan oleh kenaikan kekakuan yang terjadi akibat bertambah tebalnya material inti. Pada plat 4-30-4 dan 6-30-6, kenaikan drastis pada frekuensi natural terjadi. Penyebabnya adalah kenaikan ketebalan *faceplate* yang jauh lebih kaku dibandingkan dengan material inti, sehingga dengan penambahan ketebalan *faceplate*, frekuensi yang dimiliki akan naik drastis

4.7.2. Hasil dan Analisis Nilai Koherensi *Sandwich panel* dengan Cacat Penuh

Sebelum masuk ke proses pengolahan data utama pengujian eksperimen *sandwich panel*, perlu dilakukan proses analisa data yang bisa membuktikan keakuratan dan kevalidan data yang dimiliki. Analisa tersebut bisa menggunakan nilai koherensi. Nilai koherensi dapat membuktikan bahwa data pengujian getaran yang dimiliki sudah linier antara input dan outputnya, dengan kata lain noise yang masuk dalam pengujian sudah sedikit. Berikut adalah data koherensi dari pengujian *sandwich panel* cacat penuh.

Tabel 4.22. Nilai Koherensi pengujian *sandwich panel* cacat penuh

| Dimensi Material | Nilai Koherensi | | Rata-rata |
|------------------|-----------------|---------------|-----------|
| | <i>mode</i> 1 | <i>mode</i> 2 | |
| 4-30-4 | 0.97 | 0.95 | 0.96 |
| 4-35-4 | 0.95 | 0.93 | 0.94 |
| 6-20-6 | 0.96 | 0.91 | 0.94 |
| 6-30-6 | 0.93 | 0.89 | 0.91 |

Rata-rata koherensi yang terlihat pada tabel 4.22 berada pada kisaran 0.9 keatas. Ini menunjukkan bahwa keseluruhan data yang diambil pada penelitian *sandwich panel* dengan cacat penuh ini sudah baik. Noise yang terdapat pada pengujian ini pun dalam angka yang minimal. Serta proses pengolahan data pada pengujian ini sudah dapat terbilang baik. Kesimpulannya, data dalam pengujian kali ini bisa digunakan dalam proses analisa selanjutnya.

4.7.3. Hasil dan Analisis Pengujian Getaran *Sandwich panel* dengan Cacat Penuh

Proses pengambilan data pada pengujian *sandwich panel* retak penuh ini sama dengan pengambilan data sebelumnya. Material di eksitasi di dua titik dengan tiga penempatan accelerometer setiap titik eksitasinya. Berikut merupakan hasil pengujian getaran

Tabel 4.23. Hasil pengujian getaran *sandwich panel* cacat penuh untuk *faceplate* 4mm

| Dimensi Material | Titik eksitasi | Posisi acc | Frekuensi Natural (Hz) | |
|---------------------|-------------------|---------------|---------------------------|---------------|
| | | | <i>mode 1</i> | <i>mode 2</i> |
| 4-30-4 | 1 | A | 1754 | 2150 |
| | | B | 1759 | 2163 |
| | | C | 1769 | 2164 |
| | 2 | A | 1749 | 2158 |
| | | B | 1754 | 2169 |
| | | C | 1763 | 2173 |
| rata-rata | | | 1758 | 2162.8 |
| 4-35-4 | 1 | A | 1879 | 2229 |
| | | B | 1883 | 2223 |
| | | C | 1869 | 2234 |
| | 2 | A | 1853 | 2216 |
| | | B | 1864 | 2254 |
| | | C | 1874 | 2204 |
| rata-rata | | | 1870.333 | 2226.7 |

Tabel 4.24. Hasil pengujian getaran *sandwich panel* cacat penuh untuk *faceplate* 6mm

| Dimensi Material | Titik eksitasi | Posisi acc | Frekuensi Natural (Hz) | |
|---------------------|-------------------|---------------|---------------------------|---------------|
| | | | <i>mode</i> 1 | <i>mode</i> 2 |
| 6-20-6 | 1 | A | 2418 | 3058 |
| | | B | 2419 | 2988 |
| | | C | 2418 | 2980 |
| | 2 | A | 2413 | 3033 |
| | | B | 2419 | 3033 |
| | | C | 2418 | 3028 |
| rata-rata | | | 2417.5 | 3020 |

| | | | | |
|-----------|---|---|----------|--------|
| 6-30-6 | 1 | A | 2813 | 3253 |
| | | B | 2813 | 3258 |
| | | C | 2815 | 3253 |
| | 2 | A | 2813 | 3250 |
| | | B | 2817 | 3248 |
| | | C | 2815 | 3258 |
| rata-rata | | | 2814.333 | 3253.3 |

Pada tabel 4.23 dan tabel 4.24 disajikan data hasil pengujian pada *sandwich panel* cacat penuh. Perbandingan antara dimensi panel dan frekuensi yang dimiliki pada *sandwich panel* cacat penuh ini masih memiliki pola yang sama dengan hasil pengujian *sandwich panel* sebelumnya. Dengan bertambahnya ketebalan material, frekuensi natural yang dimiliki juga semakin bertambah. Hal ini dikarenakan ketebalan material berpengaruh terhadap kekakuan material tersebut. Dengan kekakuan yang lebih tinggi, maka frekuensi natural yang dimiliki material akan juga semakin tinggi. Ini bisa dilihat pada perbandingan plat 4-30-4 dan 6-30-6. Perbedaan frekuensi natural keduanya mencapai 1054 Hz. Ini disebabkan penambahan ketebalan *faceplate* yang jauh lebih kaku daripada material *core* sehingga frekuensi natural yang dimiliki juga naik secara signifikan.

4.7.4. Hasil dan Analisis *Damping ratio* Sandwich panel dengan Cacat Penuh

Hasil pengujian *damping ratio* pada material *sandwich panel* cacat penuh dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.25 Data *damping ratio* sandwich panel cacat penuh

| Dimensi Material | Titik eksitasi | Posisi acc | ζ_r (%) | rata-rata (%) |
|------------------|----------------|------------|---------------|---------------|
| 4-30-4 | 1 | A | 0.186 | 0.197 |
| | | B | 0.227 | |
| | | C | 0.169 | |
| | 2 | A | 0.201 | |
| | | B | 0.253 | |
| | | C | 0.142 | |
| 4-35-4 | 1 | A | 0.449 | 0.456 |
| | | B | 0.450 | |
| | | C | 0.403 | |
| | 2 | A | 0.451 | |

| | | | | |
|--------|---|---|-------|-------|
| 6-20-6 | 1 | B | 0.554 | 0.110 |
| | | C | 0.431 | |
| | | A | 0.103 | |
| | 2 | B | 0.103 | |
| | | C | 0.103 | |
| | | A | 0.083 | |
| 6-30-6 | 1 | A | 0.391 | 0.456 |
| | | B | 0.463 | |
| | | C | 0.480 | |
| | 2 | A | 0.462 | |
| | | B | 0.355 | |
| | | C | 0.587 | |

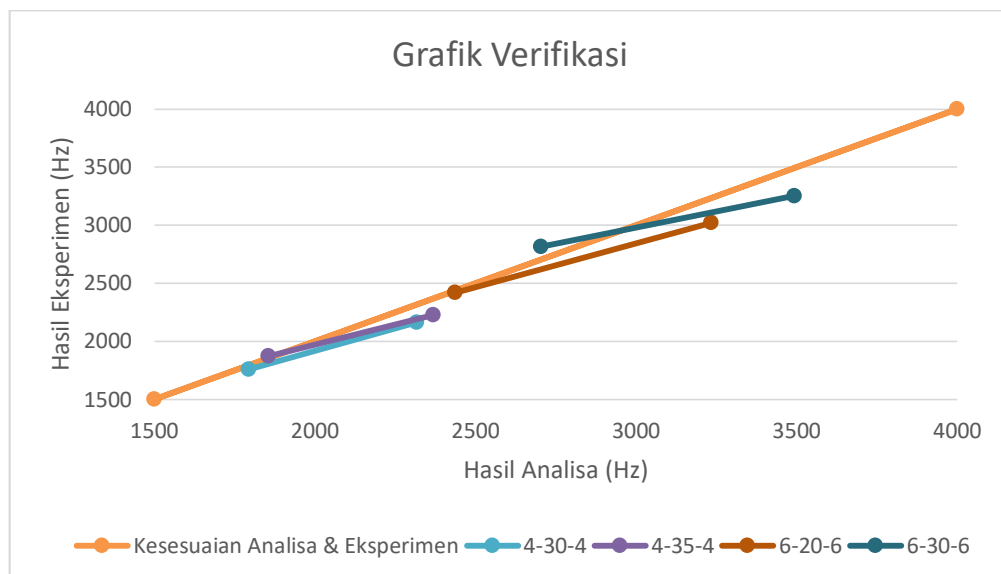
Tabel 4.25 menyajikan hasil pengolahan *damping ratio* yang didapatkan menggunakan pengujian getaran. Terlihat pada tabel, ketebalan *core* material masih berpengaruh utama terhadap *damping ratio* yang dimiliki oleh material *sandwich panel*. Pada tabel 4.26 jika dianalisa lebih lanjut, seiring dengan kenaikan ketebalan material inti *sandwich panel*, *damping ratio* yang dimiliki semakin besar. Perbandingan antara plat 4-35-4 dengan plat 6-20-6 menunjukkan, walaupun kekakuan dan frekuensi natural yang dimiliki lebih tinggi pada plat 6-20-6, tetapi *damping ratio* yang dimiliki plat 4-35-4 lebih tinggi. Ini menunjukkan, pengaruh material inti pada *sandwich panel* lah yang berperan dalam *damping ratio* material tersebut.

4.7.5. Verifikasi Hasil Pengujian *Sandwich panel* dengan Cacat Penuh

Tabel 4.26. Perbandingan Hasil pengujian *sandwich panel* cacat utuh

| Dimensi Material | Analisa (Hz) | | Percobaan Experimen (Hz) | | Perbedaan | | | |
|------------------|--------------|--------|--------------------------|--------|-----------|--------|------------|------------|
| | mode 1 | mode 2 | mode 1 | mode 2 | mode 1 | mode 2 | mode 1 (%) | mode 2 (%) |
| 4-30-4 | 1794 | 2317 | 1758 | 2163 | -36 | -154 | -2.048 | -7.13 |
| 4-35-4 | 1854 | 2369 | 1870 | 2227 | 16 | -142 | 0.8733 | -6.39 |
| 6-20-6 | 2436 | 3234 | 2418 | 3020 | -19 | -214 | -0.765 | -7.09 |
| 6-30-6 | 2703 | 3493 | 2814 | 3253 | 111 | -240 | 3.9559 | -7.37 |
| Rata-rata | | | | | 18 | -188 | 1 | -7 |

Secara keseluruhan percobaan, pola yang dimiliki antara analisa pemodelan dan percobaan experiment adalah. Semakin bertambah ketebal material inti, maka frekuensi akan naik. Begitu juga dengan pengaruh ketebalan *faceplate*, semakin tebal *faceplate* material *sandwich panel*, semakin tinggi juga frekuensi natural yang dimiliki oleh material *sandwich panel* tersebut. Ini menunjukkan bahwa hasil yang didapat dalam percobaan linier dengan hasil analisa *model*.



Gambar 4.12. Grafik verifikasi percobaan *sandwich panel* cacat utuh

Garis orange di gambar 4.12 menandakan kesesuaian antara hasil analisa dan eksperimen dengan artian perbedaan antara keduanya adalah nol. Jika diteliti lebih seksama, material yang memiliki *faceplate* setebal 6mm memiliki grafik yang lebih jauh dibandingkan dengan *sandwich panel* dengan *faceplate* 4mm. perbedaan maksimal yang terjadi pada perbandingan hasil analisa dan eksperimen pada *sandwich panel* cacat penuh adalah 7.4% untuk *mode 2* pada material 6-30-6 dengan rata-rata perbedaan secara keseluruhan adalah 1% untuk *mode 1* dan 7% untuk *mode 2*.

4.8. Analisa Pengaruh Cacat pada Material Inti *Sandwich panel*

Pada sub-bab ini akan disajikan hasil perbandingan hasil dan analisa pengujian getaran antara *sandwich panel* utuh dengan *sandwich panel* dengan kerusakan. *Sandwich panel* dengan kerusakan pada penelitian ini mempunyai dua

variasi yaitu *sandwich panel* cacat sebagian dan cacat penuh. Cacat sebagian adalah material *sandwich panel* yang diberikan cacat pada material intinya dengan panjang cacat sebesar setengah ketebalan material intinya. Sedangkan cacat penuh adalah material *sandwich panel* dengan cacat pada material intinya sepanjang ketebalan intinya, untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 3.10. Sehingga pada sub bab ini diharapkan dapat ditarik beberapa kesimpulan tentang pengaruh cacat pada material *sandwich panel*

4.8.1. Analisa dan perbandingan hasil Analisa Pemodelan *Sandwich panel*

Berikut ini adalah perbandingan hasil dari proses analisa pemodelan *sandwich panel* utuh, cacat sebagian dan cacat penuh.

Tabel 4.27. Pengaruh Cacat sebagian terhadap Frekuensi Natural pada metode pemodelan

| Dimensi Material | Frekuensi Natural (Hz) | | | | Perubahan Frekuensi Natural | |
|---------------------|------------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------------------|---------------|
| | Utuh | | Cacat sebagian | | | |
| | <i>mode 1</i> | <i>mode 2</i> | <i>mode 1</i> | <i>mode 2</i> | <i>mode 1</i> | <i>mode 2</i> |
| 4-30-4 | 1814 | 2390 | 1813 | 2368 | -1 | -22 |
| 4-35-4 | 1849 | 2425 | 1849 | 2400 | 0 | -25 |
| 6-20-6 | 2535 | 3374 | 2537 | 3365 | 2 | -9 |
| 6-30-6 | 2856 | 3712 | 2864 | 3698 | 8 | -14 |
| | | | Rata-rata | | 2 | -18 |

Pada tabel 4.27 diperlihatkan perubahan frekuensi yang terjadi akibat adanya cacat pada material inti *sandwich panel* berdasarkan pengolahan data menggunakan analisa model. Pada *mode 1* rata-rata perubahan yang terjadi hanya sebesar 2 Hz, bisa dikatakan bahwa frekuensi pada *mode 1* tidak mengalami perubahan. Sedangkan pada *mode 2* rata-rata perubahan frekuensi yang terjadi sebesar -18 Hz. Pengurangan frekuensi ini disebabkan oleh menurunnya kekakuan struktur secara keseluruhan. Sesuai dengan formula (2.6), penurunan kekakuan pada sebuah material akan berakibat pada penurunan terhadap frekuensi naturalnya.

Tabel 4.28. Pengaruh Cacat penuh terhadap Frekuensi Natural pada metode pemodelan

| Dimensi Material | Frekuensi Natural (Hz) | | | | Perubahan Frekuensi Natural (Hz) | |
|------------------|------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------------------------|---------------|
| | Utuh | | Cacat Penuh | | | |
| | <i>mode 1</i> | <i>mode 2</i> | <i>mode 1</i> | <i>mode 2</i> | <i>mode 1</i> | <i>mode 2</i> |
| 4-30-4 | 1814 | 2390 | 1817 | 2343 | 3 | -47 |
| 4-35-4 | 1849 | 2425 | 1854 | 2369 | 5 | -56 |
| 6-20-6 | 2535 | 3374 | 2543 | 3356 | 8 | -18 |
| 6-30-6 | 2856 | 3712 | 2875 | 3682 | 19 | -30 |
| Rata-rata | | | | | 9 | -38 |

Hal yang serupa dengan sandwich cacat sebagian juga dialami oleh sandwich cacat penuh. Dapat dilihat pada tabel 4.28, dengan bertambahnya dimensi cacat yang terdapat pada material, rata-rata penurunan frekuensi juga bertambah hingga 38Hz. Penyebab dari penambahan penurunan ini adalah dengan semakin besarnya cacat pada material, kekakuan material juga semakin menurun. Seperti yang diketahui, frekuensi natural dipengaruhi salah satunya oleh kekakuan material. Oleh karena itu, dengan menurunnya kekakuan material frekuensi yang dimiliki *sandwich panel* juga semakin turun.

4.8.2. Analisa dan perbandingan hasil koherensi *Sandwich panel*

Nilai koherensi yang didapat selama pengujian ini baik pada material utuh maupun material cacat dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 4.29. Nilai Koherensi keseluruhan percobaan getaran

| Dimensi Material | Nilai Koherensi | | | | | | |
|------------------|-----------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|-----------|
| | Utuh | | Cacat sebagian | | Cacat Penuh | | Rata-rata |
| | <i>mode 1</i> | <i>mode 2</i> | <i>mode 1</i> | <i>mode 2</i> | <i>mode 1</i> | <i>mode 2</i> | |
| 4-30-4 | 0.97 | 0.94 | 0.97 | 0.95 | 0.97 | 0.95 | 0.96 |
| 4-35-4 | 0.96 | 0.92 | 0.94 | 0.93 | 0.95 | 0.93 | 0.94 |
| 6-20-6 | 0.95 | 0.92 | 0.98 | 0.95 | 0.96 | 0.91 | 0.95 |
| 6-30-6 | 0.89 | 0.89 | 0.94 | 0.90 | 0.93 | 0.89 | 0.90 |
| Rata-rata | | | | | | | 0.94 |

Pada tabel 4.29 diperlihatkan bahwa nilai koherensi rata-rata untuk keseluruhan percobaan bernilai 0.94. Nilai ini menyatakan bahwa dalam keseluruhan percobaan linieritas data antara *input* dan *output* pengujian getaran

sudah dinyatakan baik. Dengan kata lain, pengaruh *noise* pada pengujian ini sangatlah kecil. Kualitas pengolahan data yang baik juga bisa ditunjukkan dengan nilai koherensi tersebut.

4.8.3. Analisa dan perbandingan hasil Pengujian *Sandwich panel*

Berikut merupakan data hasil pengujian eksperimental *Sandwich panel* antara *sandwich panel* Utuh dengan Cacat Sebagian berdasarkan perubahan frekuensi natural.

Tabel 4.30. Pengaruh Cacat Material sebagian terhadap Frekuensi Natural pada Metode eksperimen

| Dimensi Material | Frekuensi Natural (Hz) | | | | Perubahan Frekuensi Natural | |
|---------------------|------------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------------------|---------------|
| | Utuh | | Cacat sebagian | | | |
| | <i>mode 1</i> | <i>mode 2</i> | <i>mode 1</i> | <i>mode 2</i> | <i>mode 1</i> | <i>mode 2</i> |
| 4-30-4 | 1832 | 2423 | 1831 | 2333 | -1.33 | -90.33 |
| 4-35-4 | 1896 | 2426 | 1888 | 2338 | -8.00 | -88.83 |
| 6-20-6 | 2493 | 3306 | 2483 | 3208 | -9.50 | -98.00 |
| 6-30-6 | 2976 | 3564 | 2963 | 3464 | -12.50 | -99.33 |
| | | | Rata-rata | | -8 | -94 |

Pada tabel 4.30, dapat dilihat bahwa, perubahan frekuensi yang terjadi rata-rata mengalami pengurangan. Pada *mode 1* pengurangan sebesar 8 Hz, sementara pada *mode 2* pengurangan frekuensi hingga 94 Hz. Faktor utama yang menyebabkan terjadinya ini tidak lain adalah akibat pengurangan kekakuan struktur. Pengurangan kekakuan struktur ini disebabkan oleh adanya cacat pada inti material *Sandwich panel*.

Tabel 4.31. Pengaruh Cacat Material utuh terhadap Frekuensi Natural pada Metode eksperimen

| Dimensi Material | Frekuensi Natural (Hz) | | | | Perubahan Frekuensi Natural | |
|---------------------|------------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------------------|---------------|
| | Utuh | | Cacat Penuh | | | |
| | <i>mode 1</i> | <i>mode 2</i> | <i>mode 1</i> | <i>mode 2</i> | <i>mode 1</i> | <i>mode 2</i> |
| 4-30-4 | 1832 | 2423 | 1758 | 2163 | -74 | -260 |
| 4-35-4 | 1896 | 2426 | 1870 | 2227 | -25 | -200 |
| 6-20-6 | 2493 | 3306 | 2418 | 3020 | -75 | -286 |

| | | | | | | |
|--------|------|------|-----------|------|------|------|
| 6-30-6 | 2976 | 3564 | 2814 | 3253 | -161 | -310 |
| | | | Rata-rata | | -84 | -264 |

Pada tabel 4.31 disajikan data perbandingan hasil pengujian getaran berupa frekuensi natural pada *sandwich panel* utuh dengan *sandwich panel* dengan cacat penuh. Keseluruhan pengujian menunjukkan penurunan frekuensi natural. Rata-rata pada *mode 1* menunjukkan pengurangan 84Hz, serta pada *mode 2* menunjukkan pengurangan 264 Hz. Ini terjadi tentu saja akibat penurunan kekakuan yang terjadi pada material sandwich panel akibat adanya cacat yang ada pada inti material sandwich panel. Dengan berkurangnya kekakuan pada sandwich panel, berdasarkan formula 2.6, maka frekuensi natural yang dimiliki sandwich panel juga menurun. Dengan merujuk pada tren sama yang dimiliki oleh hasil pengujian analisa *model* pada bab 4.8.3, yaitu berkurangnya frekuensi natural pada material *sandwich panel* cacat, dapat ditarik kesimpulan bahwa pengurangan frekuensi pada pengujian ini diakibatkan adanya cacat itu sendiri pada material inti *sandwich panel*.

4.8.4. Analisa dan perbandingan hasil *Damping ratio Sandwich panel*

Berikut merupakan data hasil pengujian eksperimental *Sandwich panel* antara *sandwich panel* Utuh dengan Cacat Sebagian berdasarkan perubahan *damping ratio* material.

Tabel 4.32. Pengaruh Cacat Material terhadap *Damping ratio*

| Dimensi Material | Damping Ratio (%) | | | Presentase perubahan Damping Ratio | |
|------------------|-------------------|----------------|-------------|------------------------------------|-------------|
| | Utuh | Cacat sebagian | Cacat Penuh | Cacat sebagian | Cacat Penuh |
| 4-30-4 | 0.241 | 0.225 | 0.197 | 6.578 | 18.388 |
| 4-35-4 | 0.694 | 0.522 | 0.456 | 24.794 | 34.232 |
| 6-20-6 | 0.127 | 0.109 | 0.110 | 14.057 | 13.122 |
| 6-30-6 | 0.728 | 0.560 | 0.456 | 23.022 | 37.274 |
| | | | Rata-rata | 17.11 | 25.75 |

Pada tabel 4.32 menunjukkan perubahan *damping ratio* yang terjadi akibat adanya cacat pada material inti. Secara keseluruhan plat, material mengalami penurunan *damping ratio*. tetapi, walaupun terjadi penurunan, ratio antar ketebalan

tetap memiliki tren yang sama. Ini diakibatkan pengaruh ketebalan material inti *sandwich panel* yang mempengaruhi nilai dari *damping ratio* tersebut. Semakin tebal material inti *sandwich panel*, maka *damping ratio* pun semakin tebal. Terlihat secara keseluruhan bahwa *damping ratio* yang dimiliki oleh plat 4-35-4 lebih tinggi dibandingkan dengan plat 6-20-6, walaupun plat 6-20-6 memiliki *faceplate* yang lebih tebal.

Tabel 4.33 menunjukkan perubahan *damping ratio* yang terjadi akibat adanya cacat pada material inti. Secara keseluruhan, plat material mengalami penurunan *damping ratio*. Rata-rata penurunan *damping ratio* yang terjadi pada *sandwich panel* adalah 17.11% pada *sandwich panel* cacat sebagian dan 25.75% pada *sandwich panel* cacat penuh. Penurunan ini terjadi akibat cacat yang terdapat pada material mengurangi penampang dari *sandwich panel*. Berdasarkan kesimpulan yang telah ditarik sebelumnya, bahwa justru material inti *sandwich panel* lah yang paling berpengaruh terhadap *damping ratio* suatu *sandwich panel*. Dengan munculnya cacat pada inti *sandwich panel* tersebut, dimensi ketebalan material inti juga akan berkurang. Pengurangan ukuran ketebalan material inti inilah yang mengakibatkan penurunan *damping ratio* yang terjadi pada *sandwich panel*

4.8.5. Analisa dan perbandingan hasil verifikasi Hasil

Berikut merupakan rekap data verifikasi hasil pada pengujian *sandwich panel* utuh, cacat sebagian, dan cacat penuh

Tabel 4.33 Verifikasi hasil keseluruhan percobaan

| Dimensi Material | Perbedaan Hasil Analisa dan Experimen (%) | | | | | | |
|------------------|---|--------|----------------|--------|-------------|--------|-----------|
| | Utuh | | Cacat sebagian | | Cacat Penuh | | Rata-rata |
| | mode 1 | mode 2 | mode 1 | mode 2 | mode 1 | mode 2 | |
| 4-30-4 | 0.99 | 1.37 | 0.97 | -1.51 | -2.05 | -7.13 | -1.22 |
| 4-35-4 | 2.46 | 0.05 | 2.05 | -2.67 | 0.87 | -6.39 | -0.60 |
| 6-20-6 | -1.71 | -2.05 | -2.17 | -4.88 | -0.77 | -7.09 | -3.11 |
| 6-30-6 | 4.02 | -4.16 | 3.34 | -6.74 | 3.96 | -7.37 | -1.16 |
| Rata-rata | | | | | | | -1.52 |

Pada tabel 4.34 diperlihatkan nilai verifikasi keseluruhan percobaan yaitu perbedaan hasil percobaan baik melalui eksperimen maupun analisa model. Disini, hasil eksperimen menjadi patokan pada proses verifikasi. Ini dikarenakan pada

eksperimen merupakan representasi keadaan sebenarnya. Nilai perbedaan maksimal yang terdapat pada keseluruhan percobaan adalah 7.37%. beda ini didapat pada percobaan sandwich cacat penuh pada material 6-30-6. Rata-rata perbedaan hasil penelitian ini secara keseluruhan hanya 1.52%.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Khumar Ja (2007) tentang topic dan metode yang sama, walaupun dengan material sandwich yang berbeda, perbandingan hasil eksperimental dengan analisa model yang dilakukan mencapai perbedaan maksimal 9%. Selanjutnya Jweeg (2012) juga melakukan studi komparasi antara eksperimental dan analisa. Hasil komparasi tersebut memiliki perbedaan sebesar 8.5%. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa pada penelitian kali ini, hasil yang didapat sudah memadai dan linier dengan penelitian-penelitian sebelumnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.

Penelitian ini menggunakan 4 ukuran *Sandwich panel* yang digunakan dalam pengujian getaran. Dengan ukuran (4-30-4), (4-35-4), (6-20-6), dan (6-30-6). Komposisi material inti yang digunakan adalah material resin (50%), talk (50%) dan katalis (0,3%). Penelitian dilakukan dengan mengidentifikasi pengaruh adanya cacat pada material inti sandwich panel dengan kondisi cacat dengan panjang setengah ketebalan inti sandwich dan ketebalan penuh sandwich panel.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada pengujian pengaruh cacat pada material *Sandwich panel* menggunakan getaran, maka didapatkan beberapa kesimpulan, diantaranya adalah

1. Pengujian eksperimen getaran yang dilakukan pada material tersebut menunjukkan bahwa terdapat penurunan frekuensi natural antara material *Sandwich panel* cacat sebagian jika dibandingkan dengan Material *Sandwich panel* utuh dengan rata-rata pengurangan frekuensi natural sebanyak 8 Hz untuk *mode* 1 dan 94 Hz untuk *mode* 2.
2. Penurunan frekuensi juga terjadi pada *sandwich panel* dengan cacat penuh jika dibandingkan dengan *sandwich panel* utuh pada pengujian eksperimen. Pengurangan frekuensi natural yang terjadi mencapai 84 Hz untuk *mode* 1 dan 264 Hz untuk *mode* 2 dalam nilai rata-rata
3. Pada pengujian analisis perubahan pada sandwich panel cacat sebagian sebanyak 2 Hz untuk *mode* 1 dan -18 Hz untuk *mode* 2 dalam nilai rata-rata. Sementara pada sandwich panel cacat penuh, perubahan frekuensi mencapai 9Hz untuk *mode* 1 dan -38 Hz untuk *mode* 2 pada rata-ratanya.
4. Hal yang paling berpengaruh dalam *damping ratio* pada *Sandwich panel* merupakan bagian inti Panel tersebut. Hal ini ditunjukkan dengan hasil *damping ratio* yang lebih besar pada panel (4-30-4) dibandingkan dengan panel (6-20-6), meskipun *faceplate* yang dimiliki lebih tipis.

5. Akibat adanya cacat pada material inti, mempengaruhi nilai dari damping ratio sandwich panel. Pada sandwich panel dengan cacat sebagian, damping ratio turun 17.11% dan pada material cacat penuh damping ratio turun 25.75% pada nilai rata-ratanya
6. Proses verifikasi yang dilakukan pada pengujian ini membandingkan antara hasil eksperimen dan analisa model. Presentase maksimal yang terjadi pada percobaan ini mencapai 7.37% dan 1.52% untuk keseluruhan percobaan. Ini membuktikan bahwa hasil eksperimen telah baik dan linier dengan hasil analisa pemodelan.

5.2. Saran-saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, beberapa saran dapat diberikan untuk menunjang hasil penelitian ini diantaranya adalah:

1. Analisa lebih lanjut mengenai cacat pada material inti *sandwich panel* perlu diperluas. Mengingat pada pengujian ini, cacat yang diberikan pada material hanya berjumlah satu. Sementara dalam kondisi sesungguhnya, tidak menutup kemungkinan *multiple damage* akan terjadi pada material inti.
2. Dilakukan penelitian lebih lanjut tentang penggunaan eksperimen getaran pada estimasi penentuan posisi dari cacat. Hal ini mengingat kondisi Material Inti *Sandwich panel* yang tidak bisa diperiksa menggunakan visual testing, sehingga perlu dilakukan percobaan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

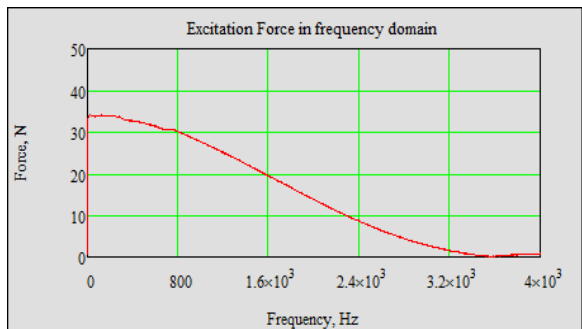
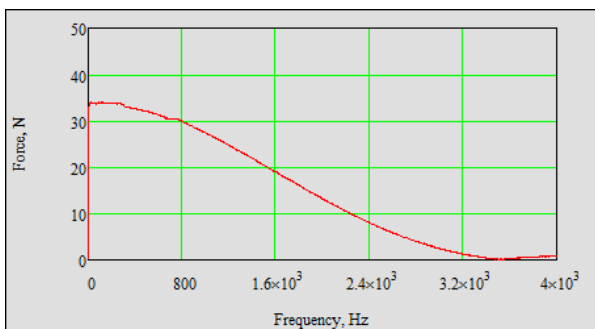
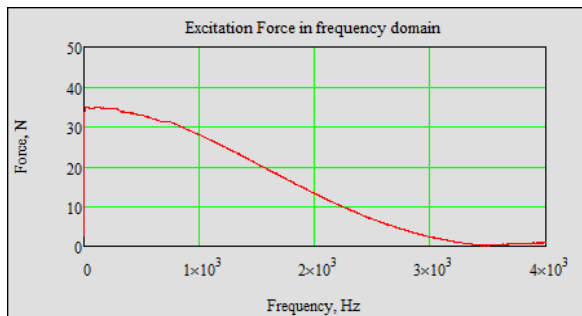
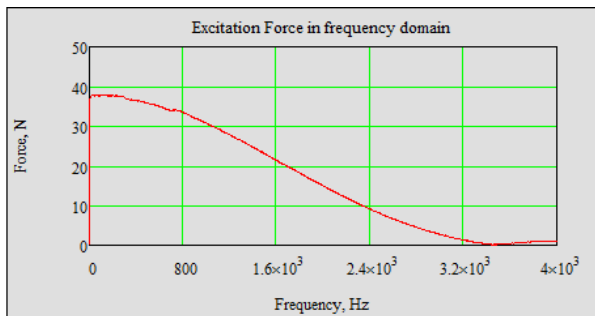
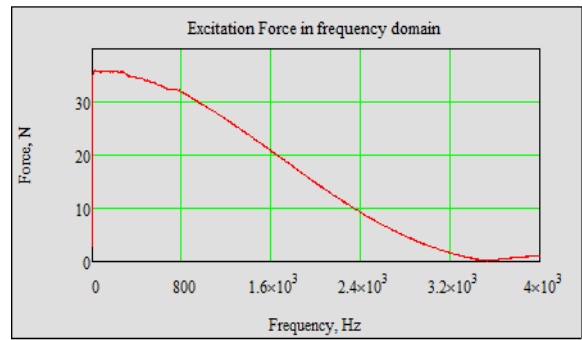
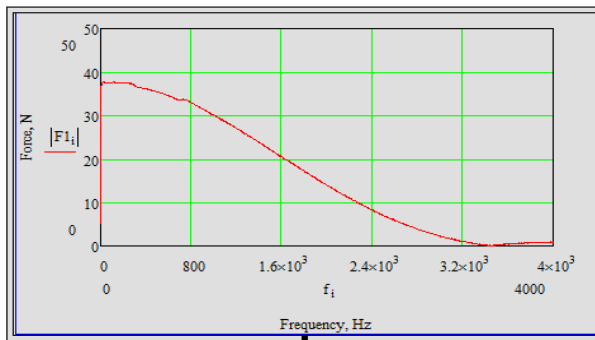
- Al-Waily, M. (2013), "*Experimental and Numerical Vibration Study of Woven Reinforcement Composite Laminated Plate with Delamination Effect*", Reaserch Gate.
- Brooking.M.A., Kennedy.S.J. (2004), "*The performance, Safety and Production benefits of SPS structures for Double Hull Tankers*", in proceedings of the RINA conference on Double Hull Tankers, 25-26.02.2004, London, UK, PP.1-2.
- Det Norske Veritas. (2012), "*Steel Sandwich panel Construction*", Classification notes, No.30.11.
- Ewins, D.J. (1984), "*Modal Testing : Theory and Practice*", Reasearch Studies Press, England
- Goldman, S. (1999), "*Vibration Spectrum Analysis*", Industrial Press Inc, New York
- Gopichand,A., Krishnaiah,G., Reddy,D., Shankar, N.V.S.(2013) "*Modal Analysis of a Steel Sandwich Plate System (SPS) Floor*" IJERT.
- IE,(2016)"*SPS The Sandwich Plate System Heavy Engineering Composite from Intelligent Engineering*", <http://www.ie-sps.com//>.
- Jimin, He. Fu, Zhi-Fang.(2001), "*Modal Analysis*", Butterworth Heinemann, Great Britain
- Jweeg M.j., Hammood. A., Al-Wally, (2012) "*Experimental and Numerik Study of Oblique Crack Effect on Natural Frequency of Different Composite Plate Structure Types*", Asian Transaction on Engineering.
- Llyod's Register. (2006), "*Provosional rules for the application of sandwich panel construction to ship structure*", LR, UK.
- Momcilovic.N., Motok.M. (2009), "*Estimation of Ship Lightweight Reduction by Means of application of Sandwich Plate System*", Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Serbia.
- Ramakrishnan. K, Kumar, P.(2016). "*Application of Sandwich Plate System for Ship Structures*", Aries Internasional Research Institute, UAE

- Randall, R.B. Tech, B. (1987) “ *Frequency Analysis*”, Larsen&Sen, Denmark
- Saito, A. Castanier, M.p. (2008), “*Vibration Response of Cracked Cantilever Plates Near Natural Frequency Veerings*” AIAA, Illinois.
- Utomo, E. Zubaydi, A. (2016). “*Penggunaan Sandwich panel (Pelat Baja dan Synthetic Resin) Pada Konstruksi Kapal*”, Surabaya

LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN

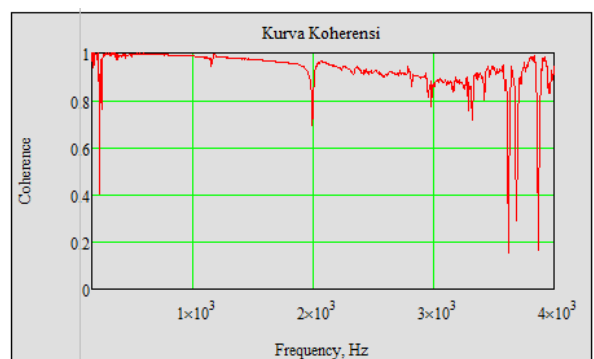
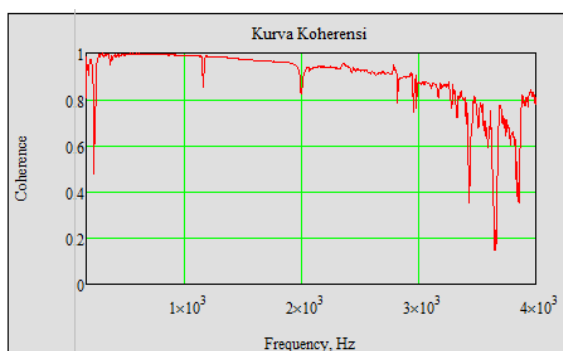
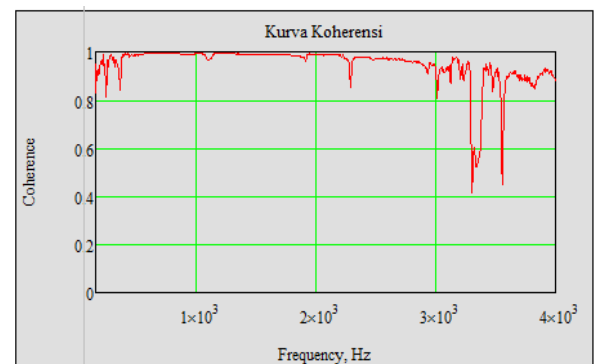
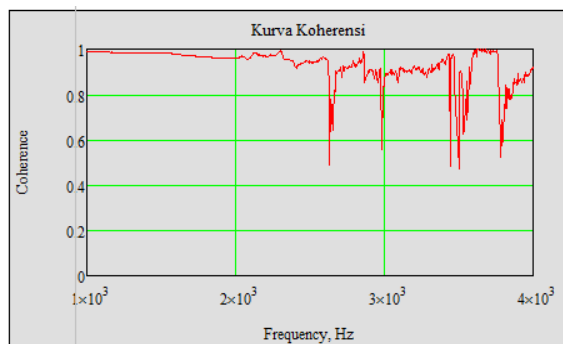
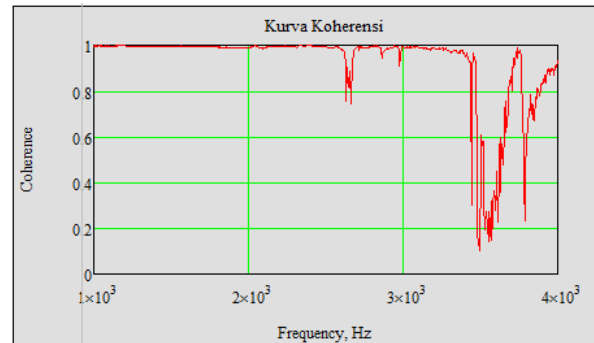
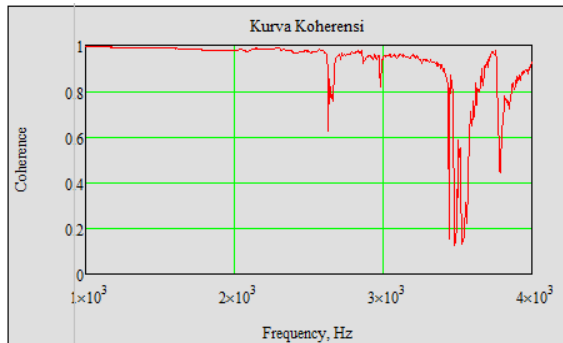
PENGUJIAN HAMMER TIP

DENGAN UJUNG PLASTIK



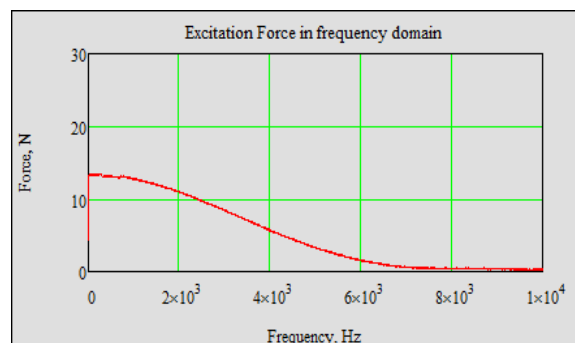
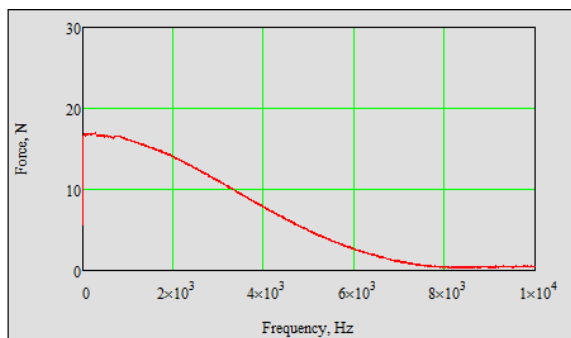
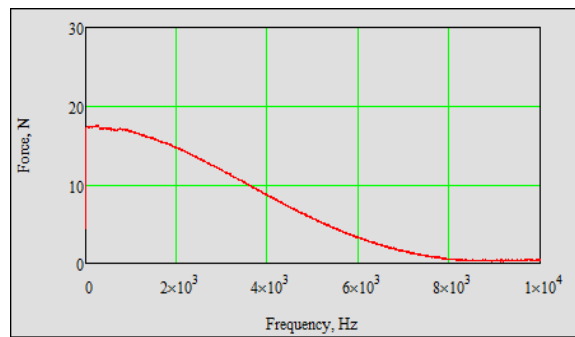
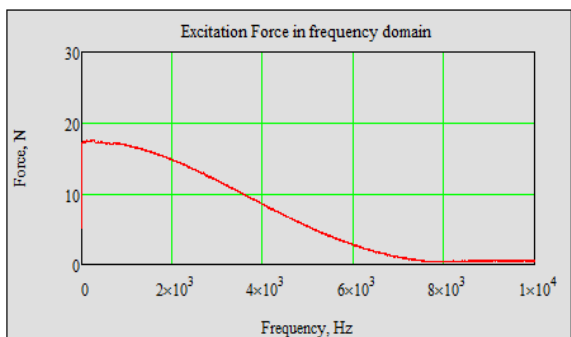
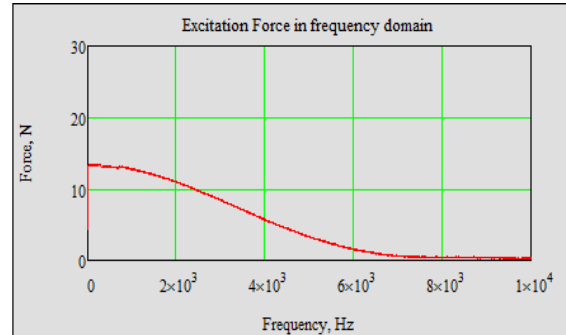
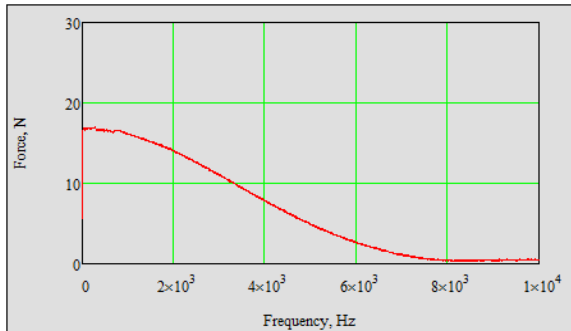
PENGUJIAN HAMMER TIP

DENGAN UJUNG PLASTIK



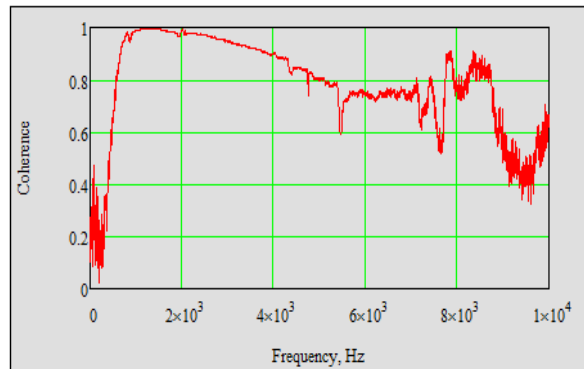
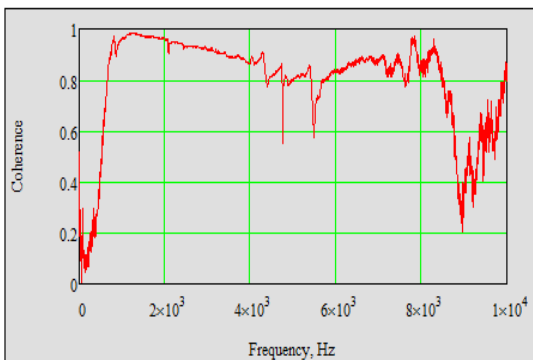
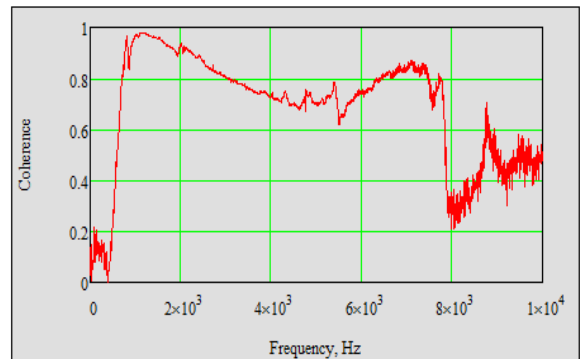
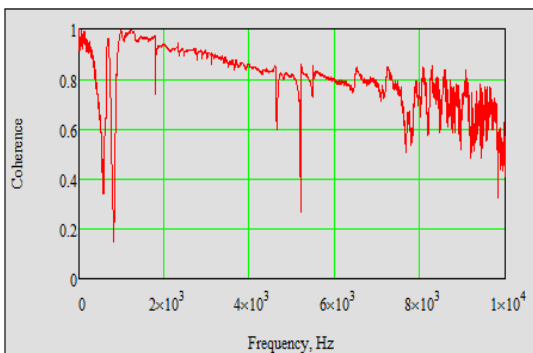
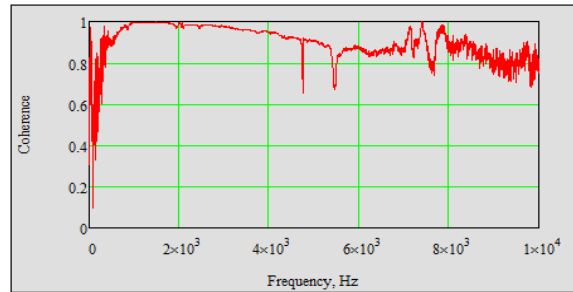
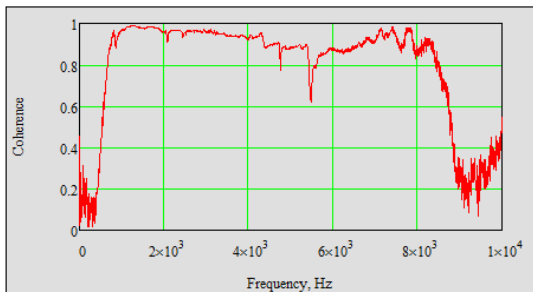
PENGUJIAN HAMMER TIP

DENGAN UJUNG ALUMINIUM



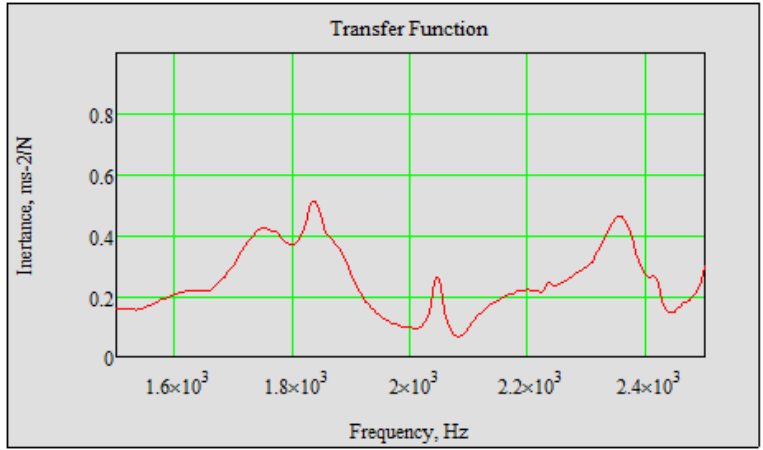
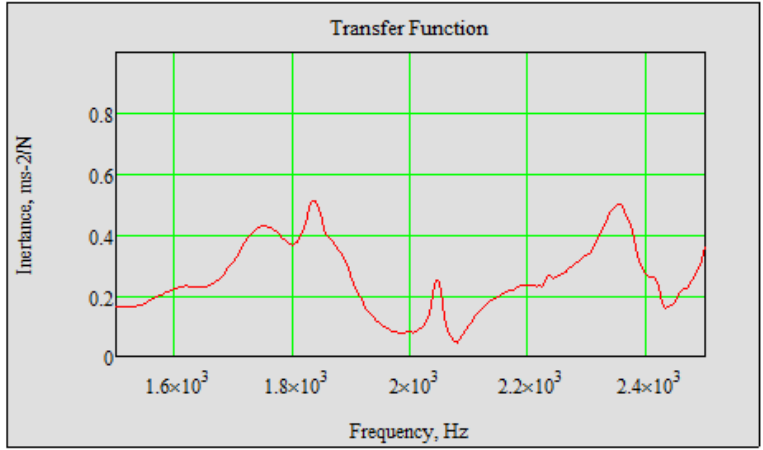
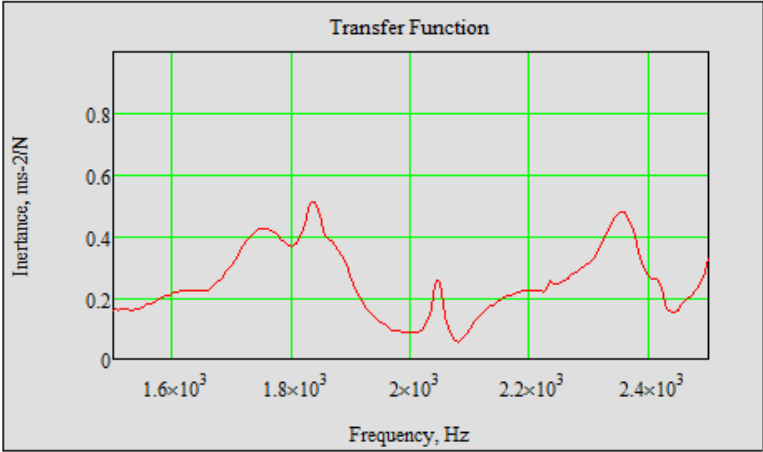
PENGUJIAN HAMMER TIP

DENGAN UJUNG ALUMINIUM



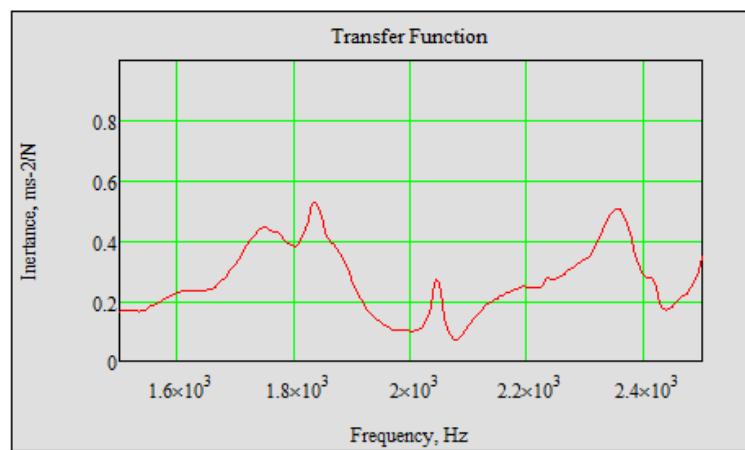
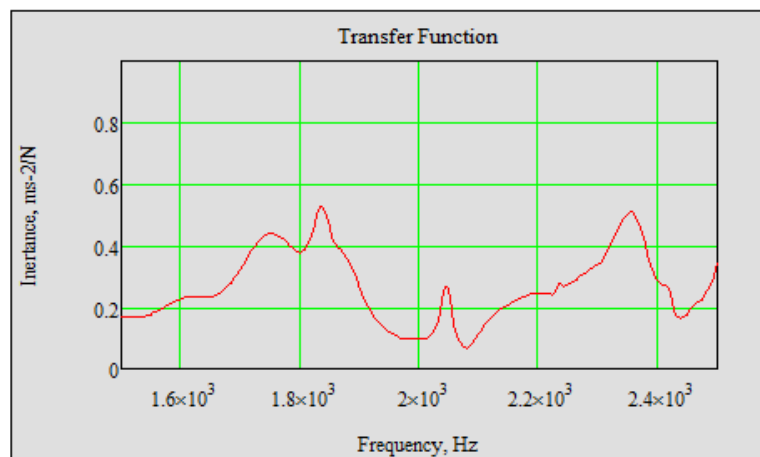
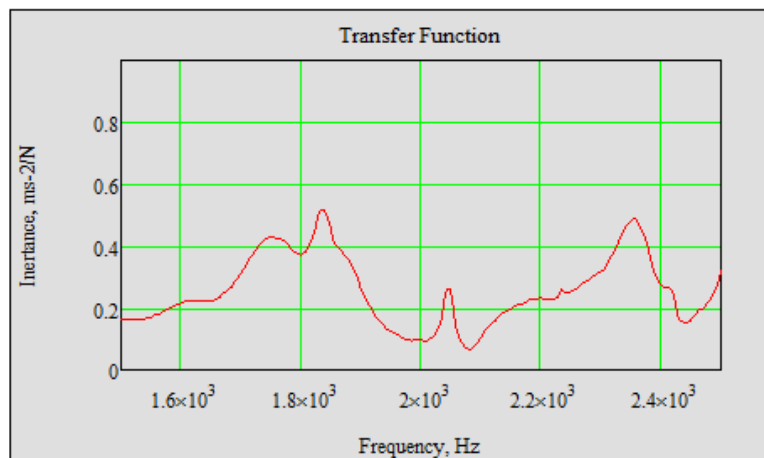
PENGUJIAN Re-SETUP

SETUP KE-1



PENGUJIAN Re-SETUP

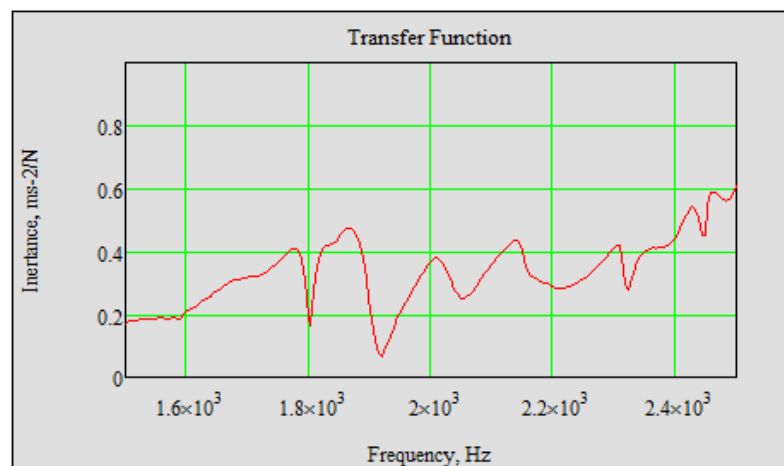
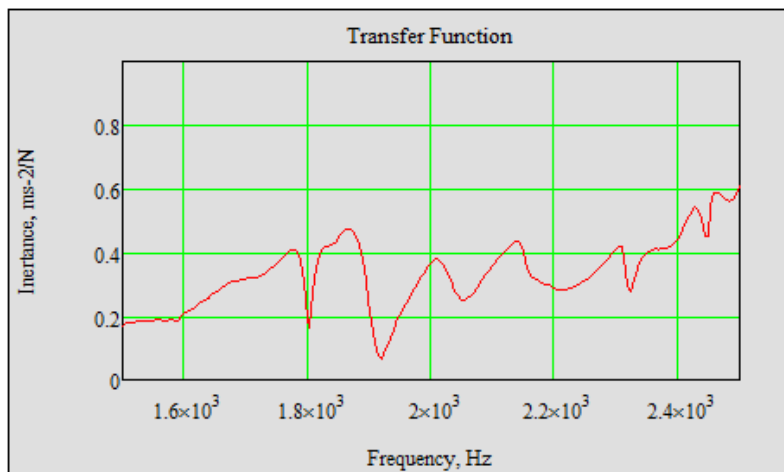
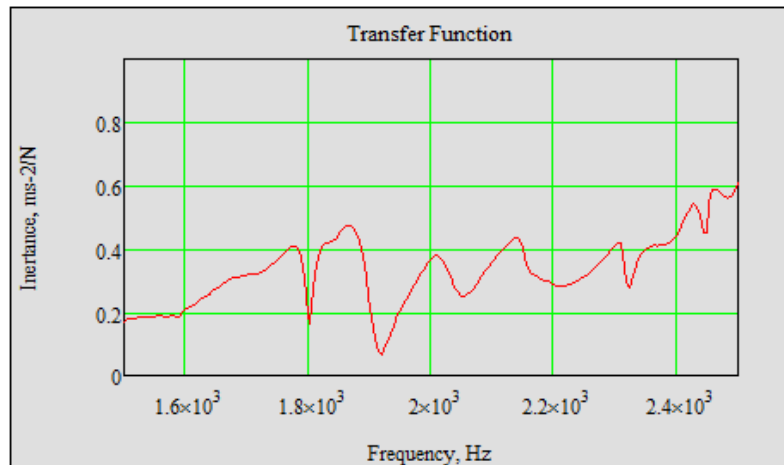
SETUP KE-2



screenshot transfer function pada pengujian re-setup

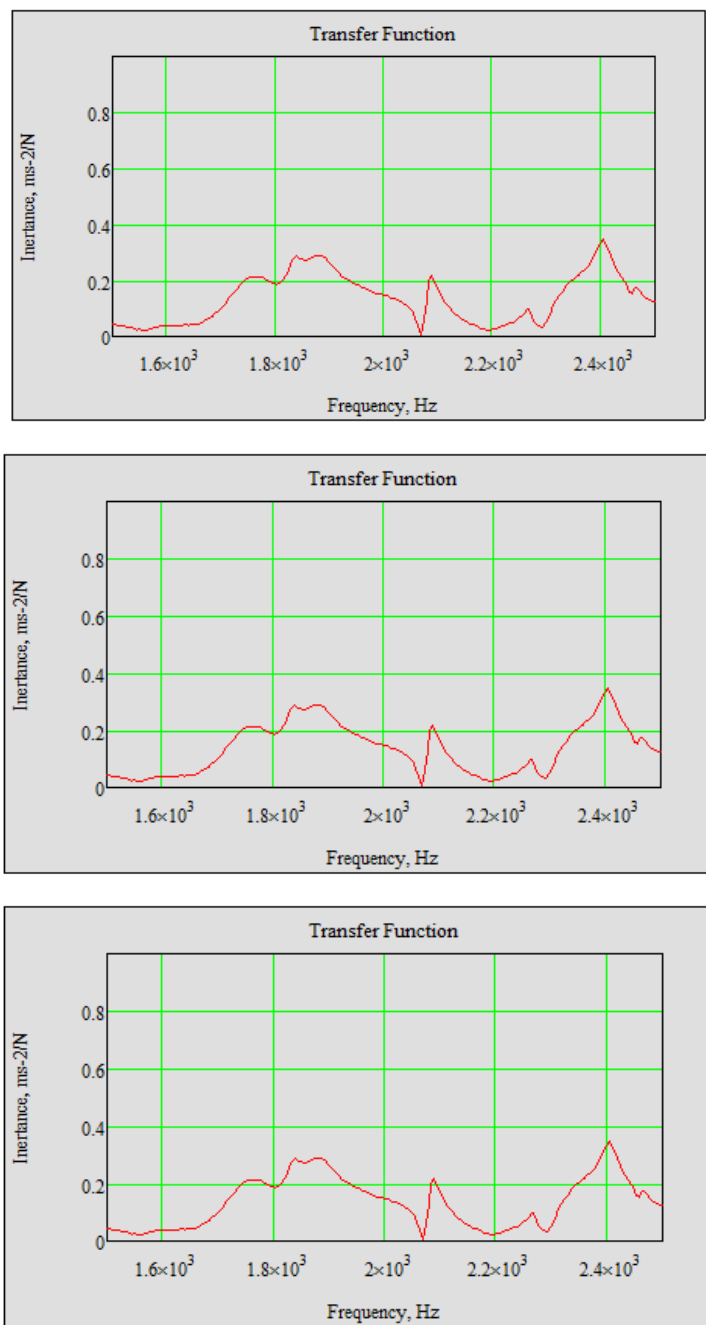
PENGUJIAN Re-SETUP

SETUP KE-3



PENGUJIAN Re-SETUP

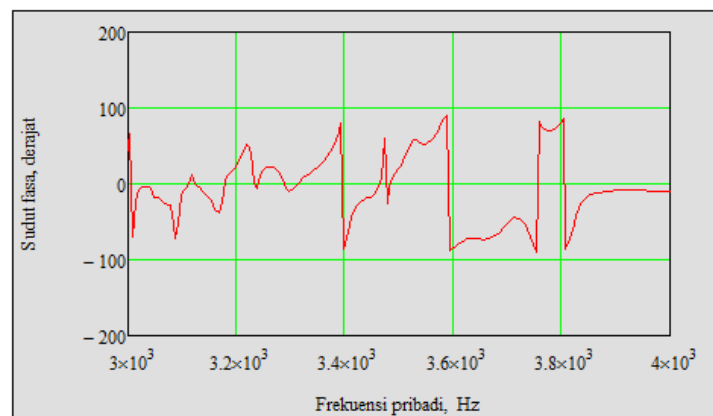
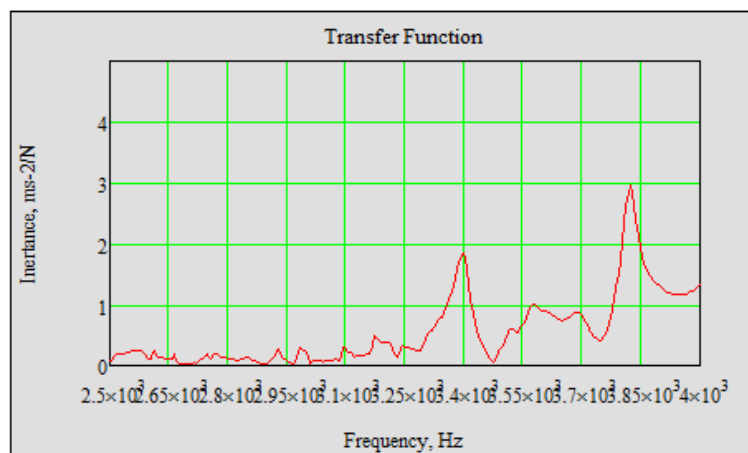
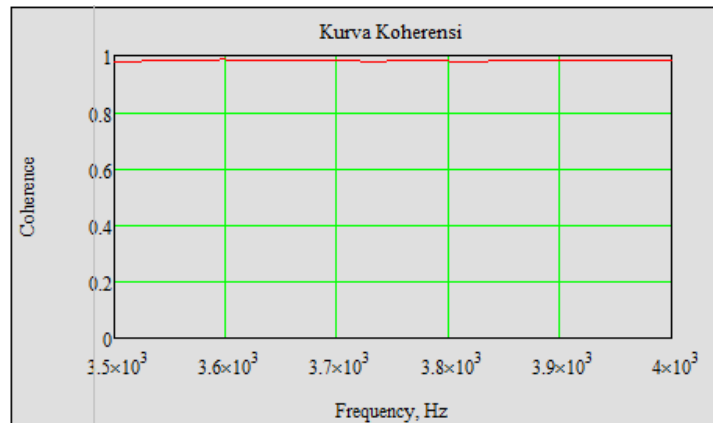
SETUP KE-3



screenshot transfer function pada pengujian re-setup

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL DUDUKAN

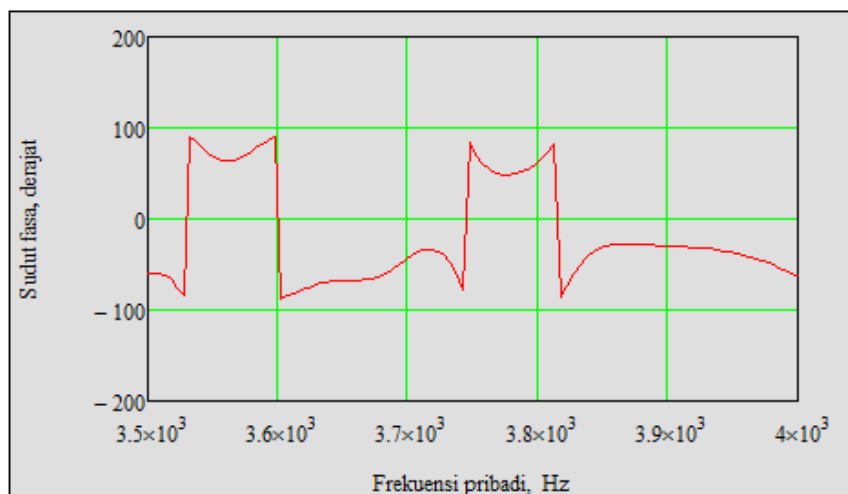
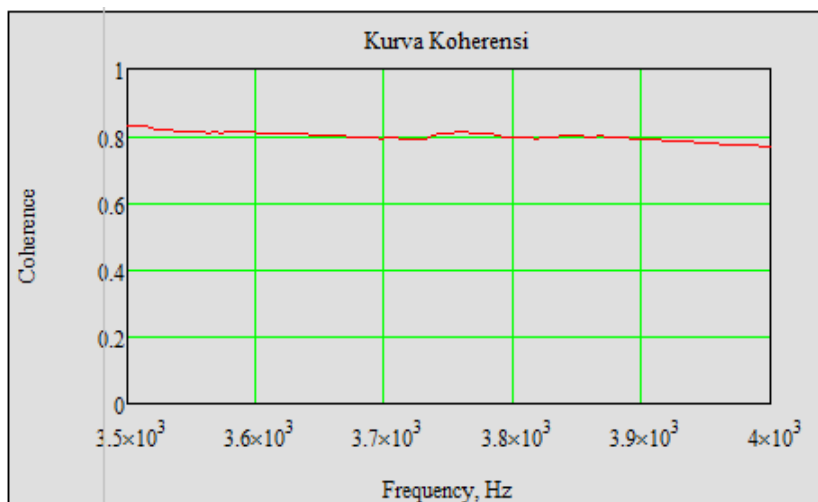
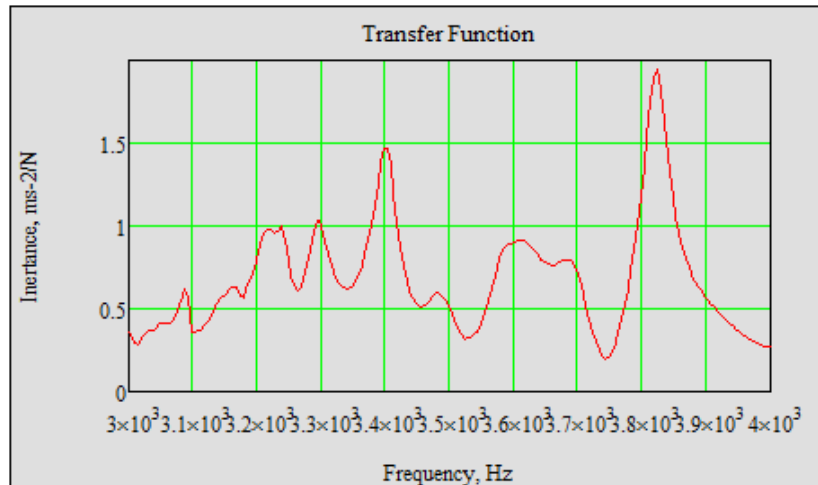
TITIK EKSITASI “A”



screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural dudukan

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL DUDUKAN

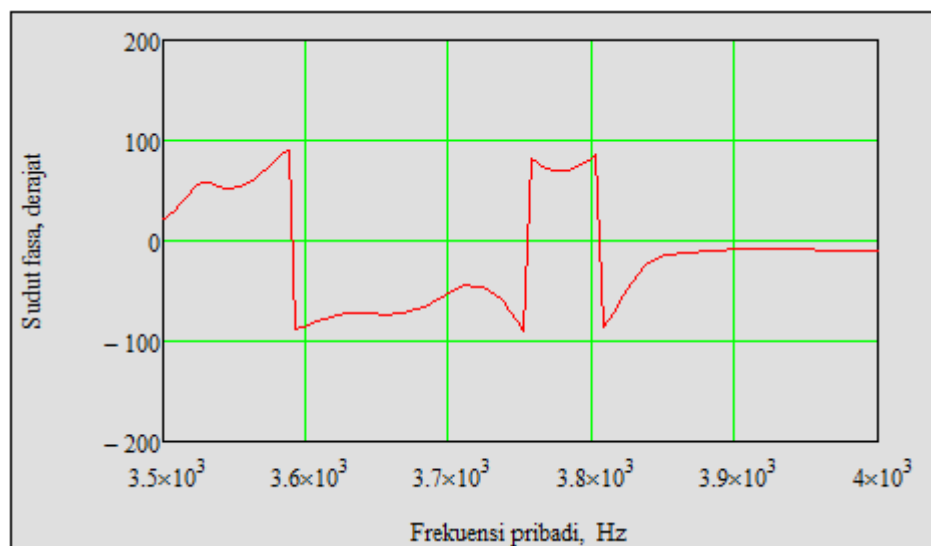
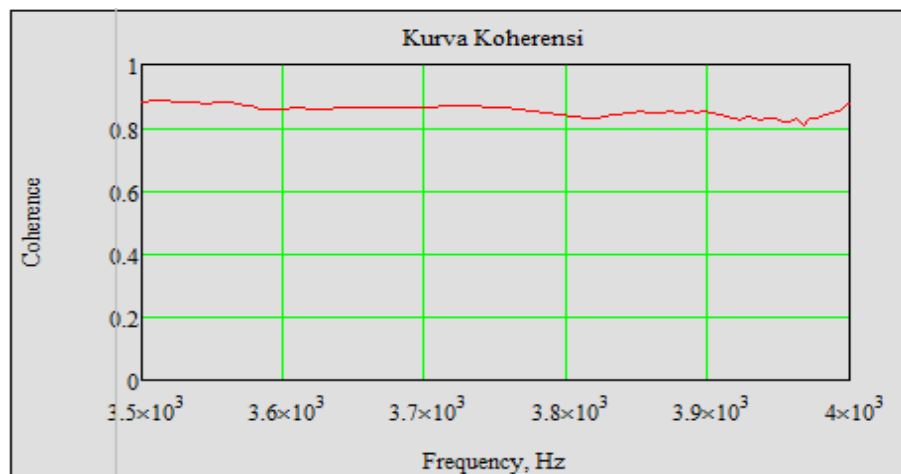
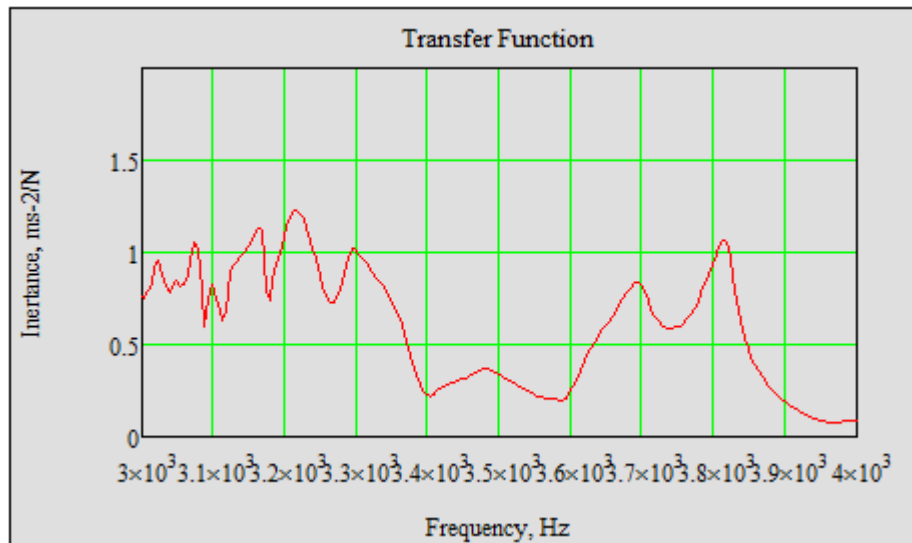
TITIK EKSITASI “B”



screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural duduk

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL DUDUKAN

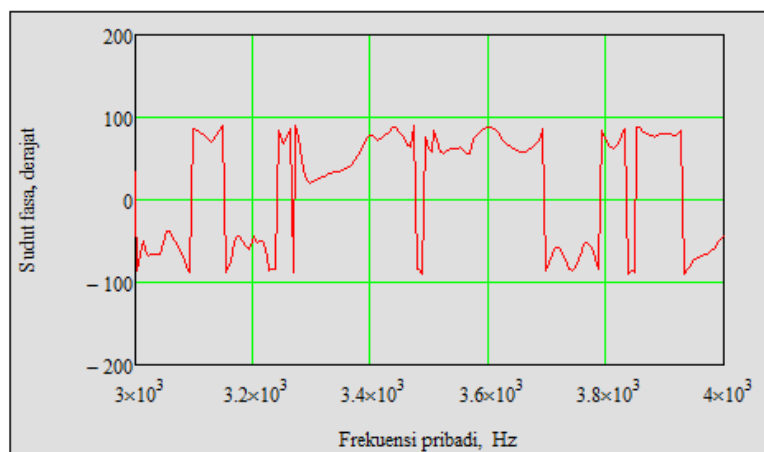
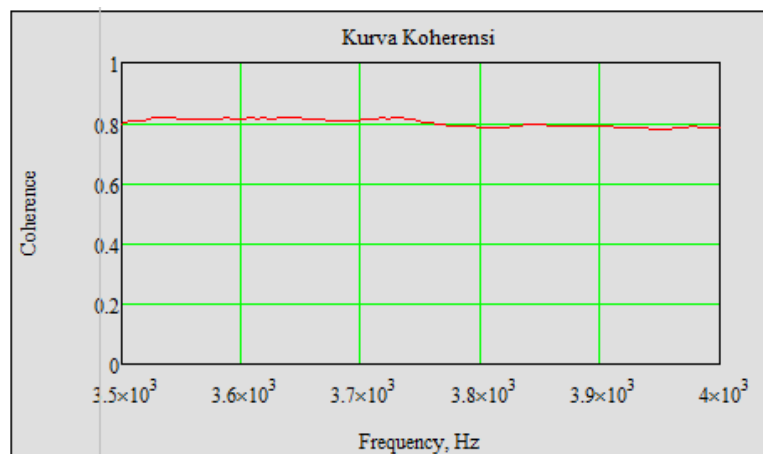
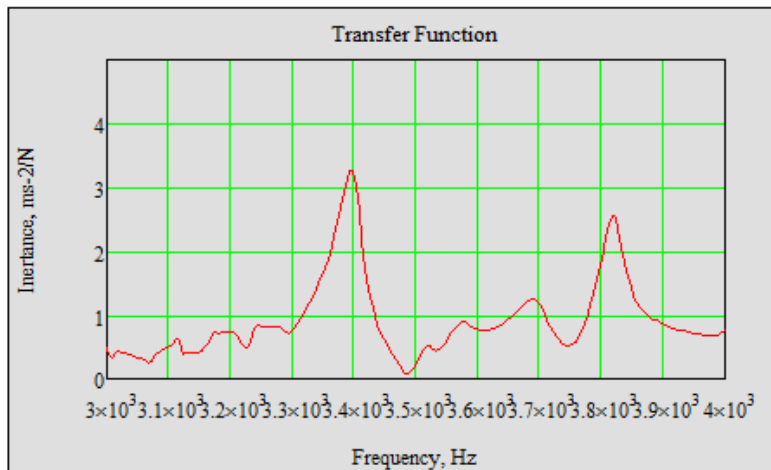
TITIK EKSITASI “C”



screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural duduk

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL DUDUKAN

TITIK EKSITASI “D”

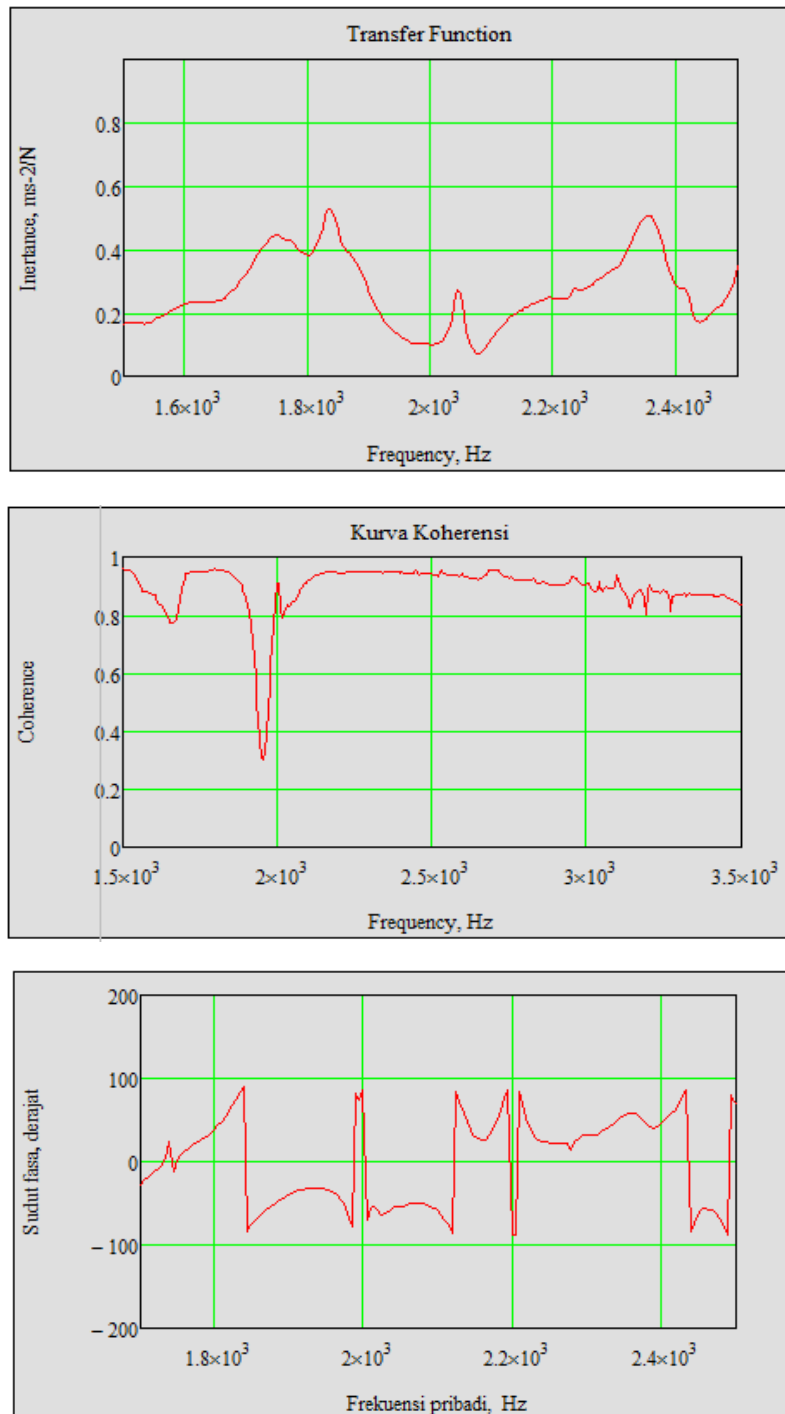


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural duduk

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 4-30-4

TITIK PENGUJIAN "1A"

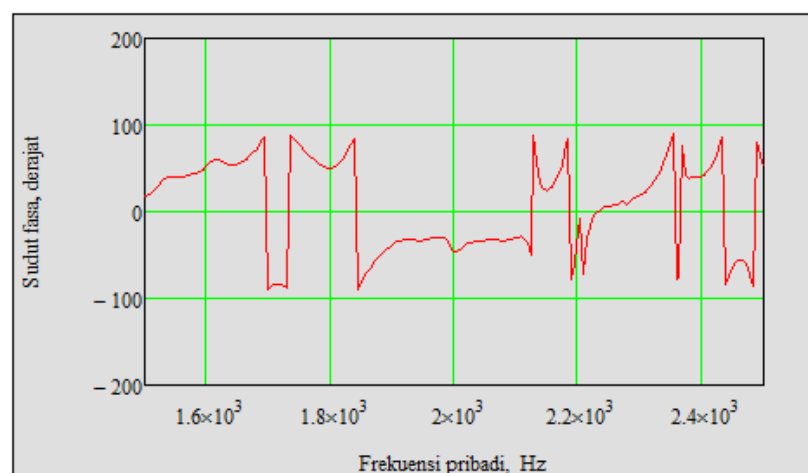
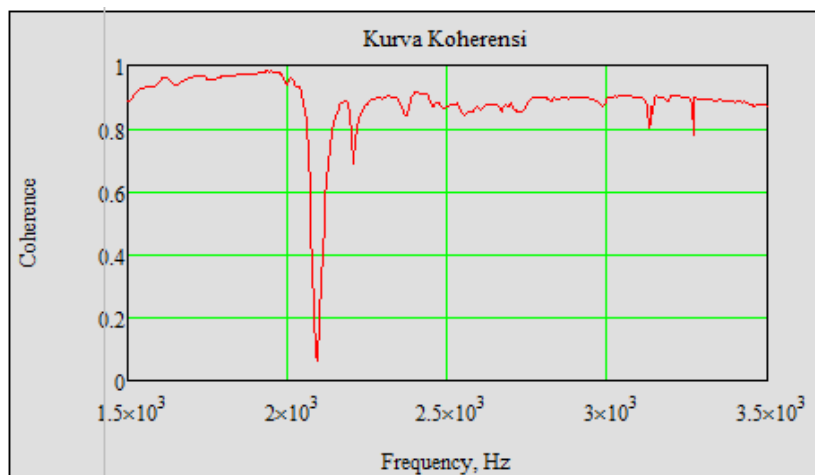
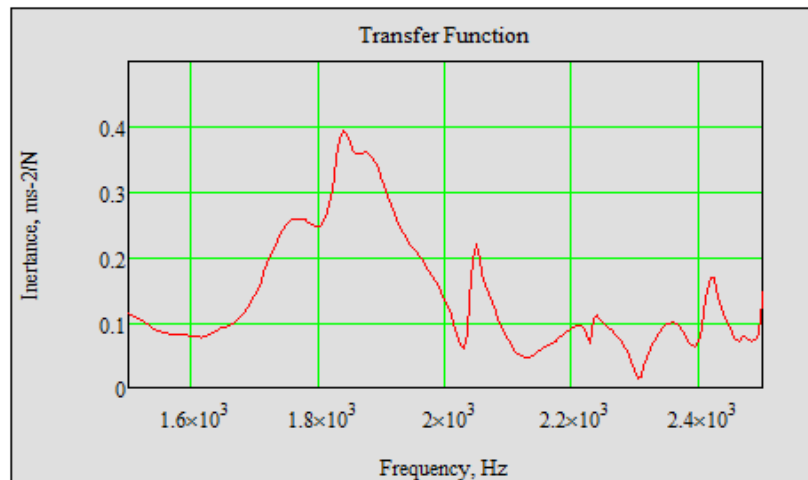


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 4-30-4

TITIK PENGUJIAN "1B"

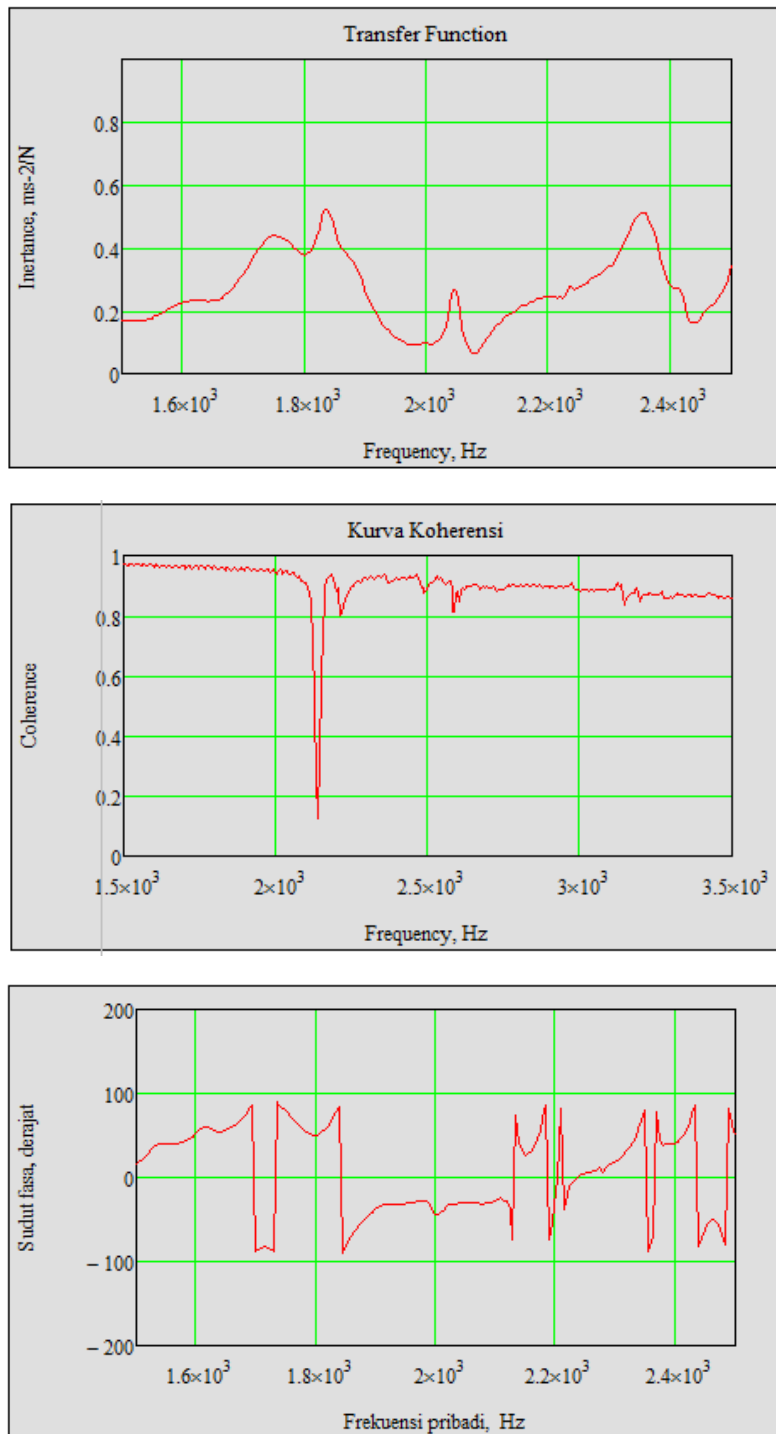


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 4-30-4

TITIK PENGUJIAN "1C"

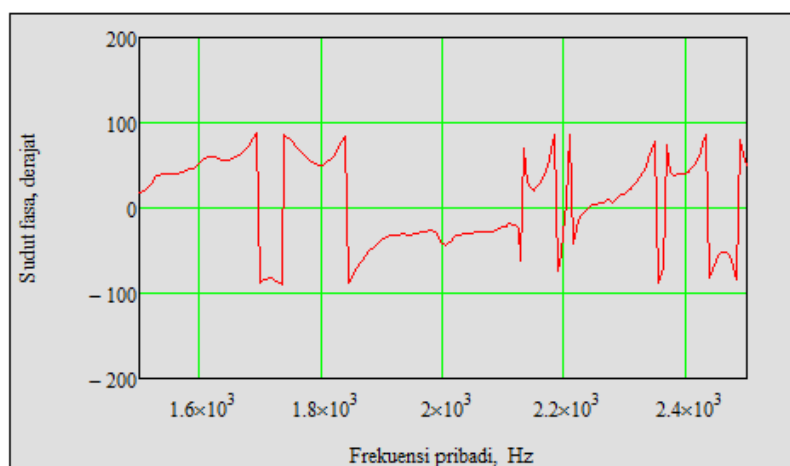
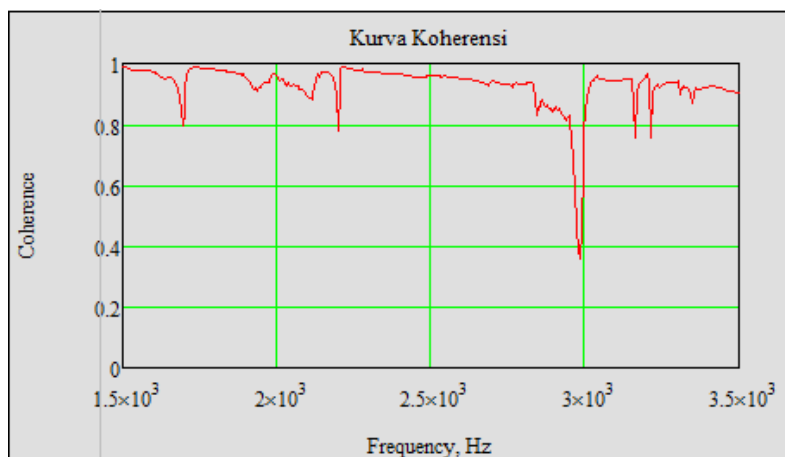
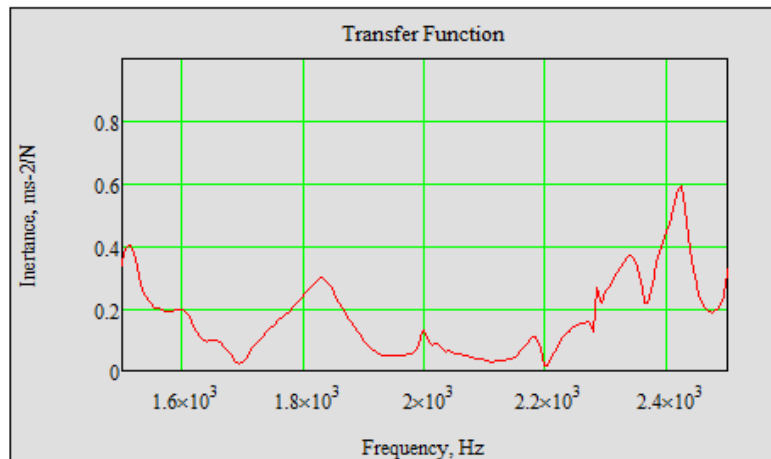


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 4-30-4

TITIK PENGUJIAN “2A”

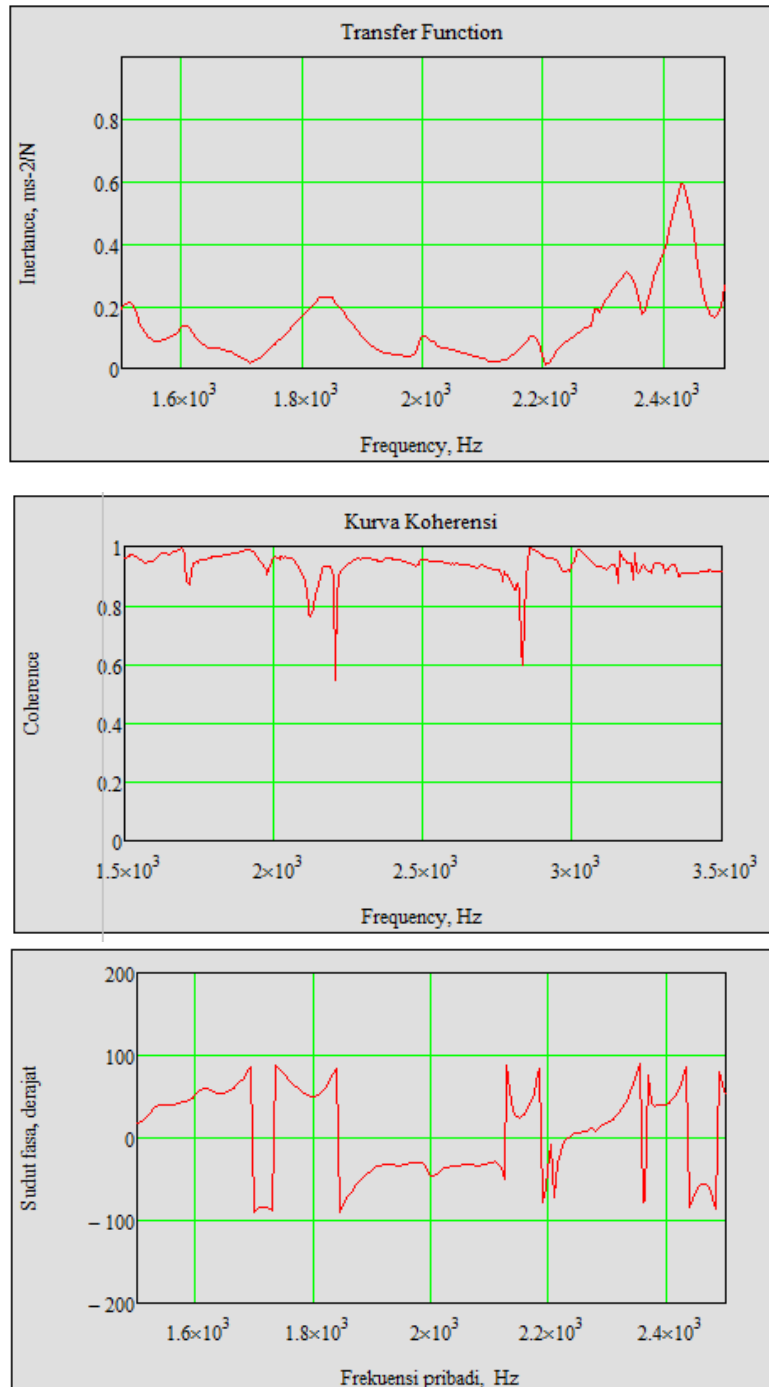


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 4-30-4

TITIK PENGUJIAN “2B”

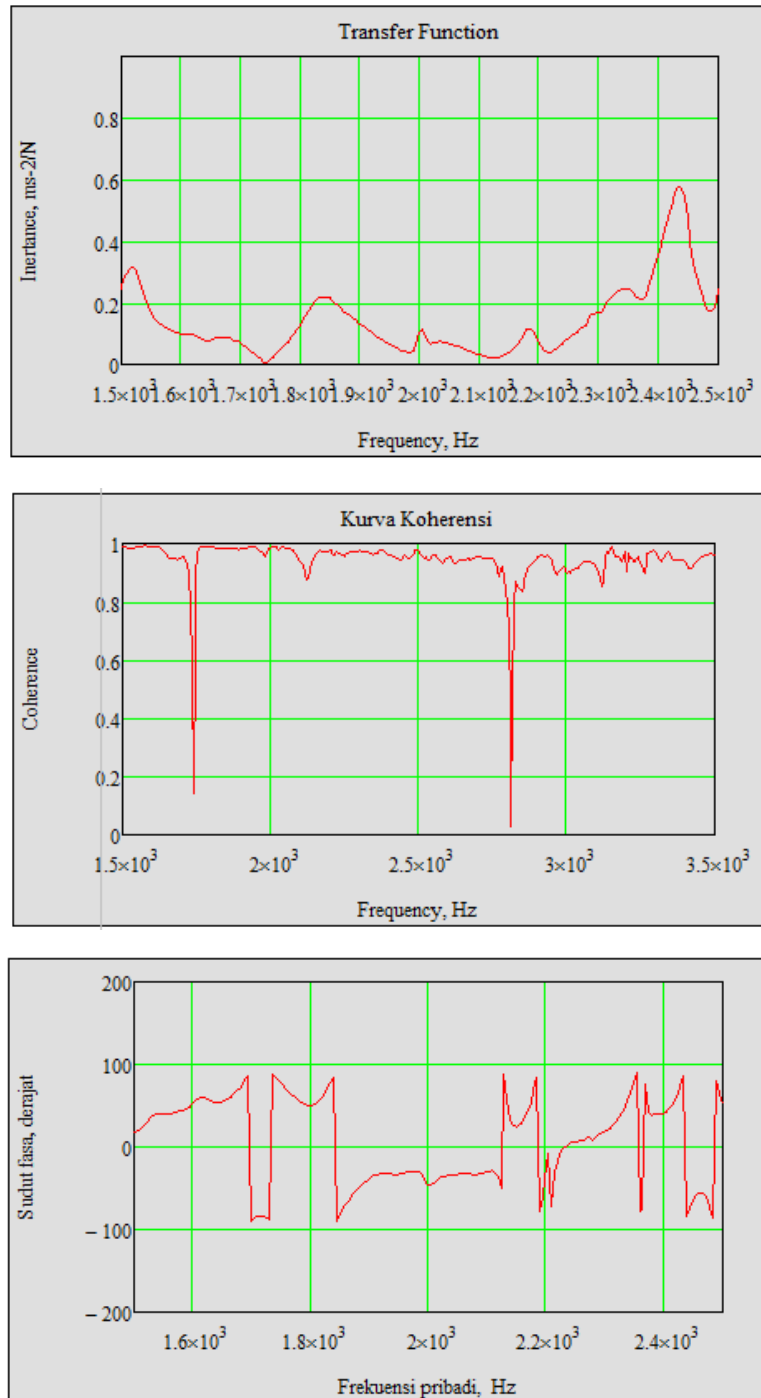


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 4-30-4

TITIK PENGUJIAN “2C”

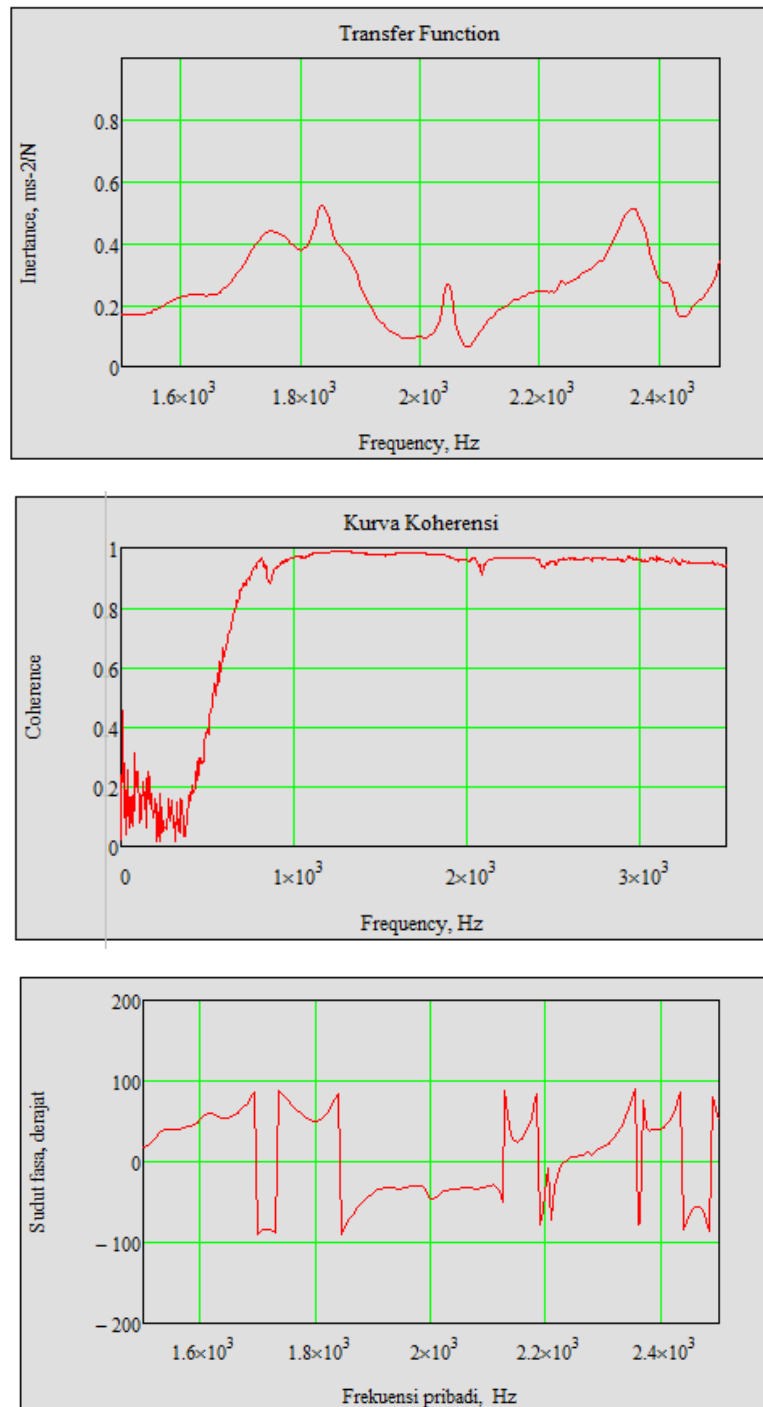


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 4-35-4

TITIK PENGUJIAN “1A”

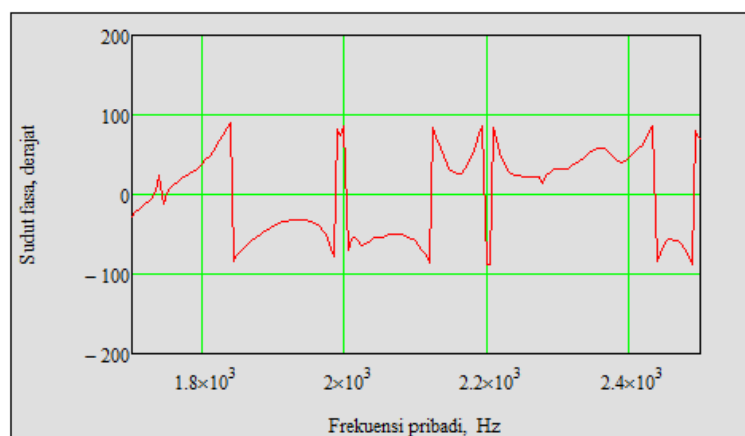
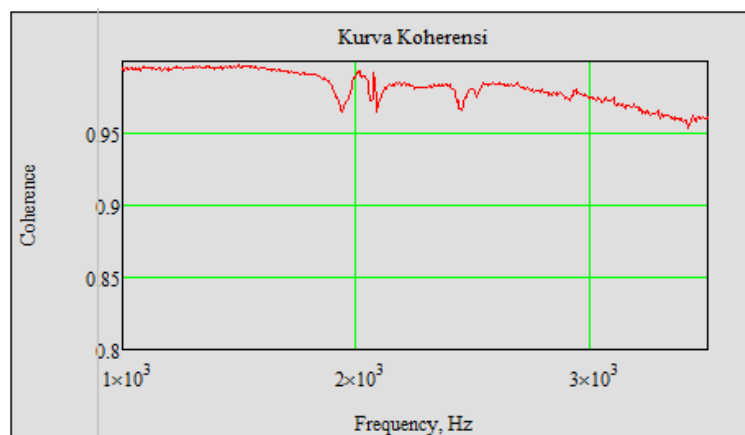
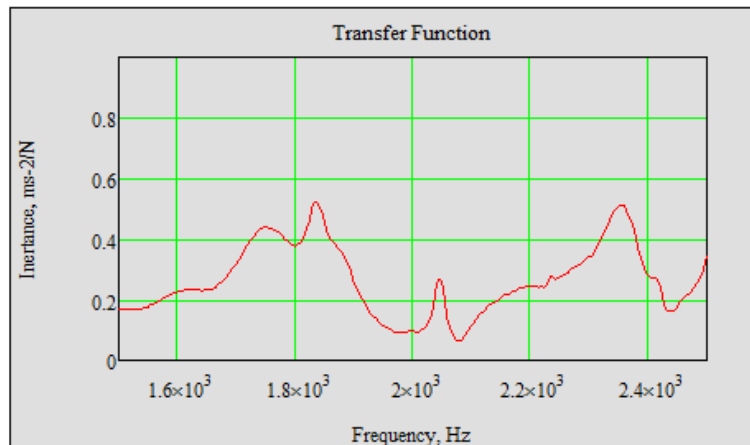


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 4-35-4

TITIK PENGUJIAN “1B”

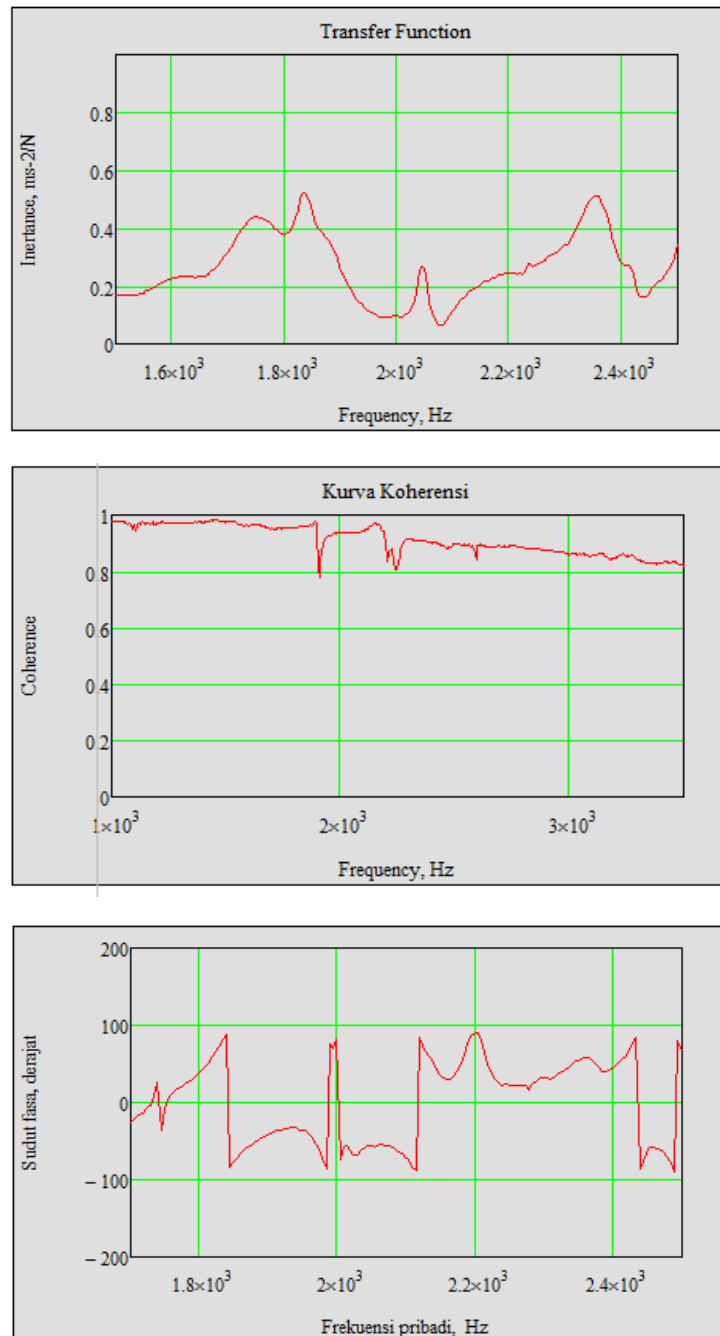


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 4-35-4

TITIK PENGUJIAN “1C”

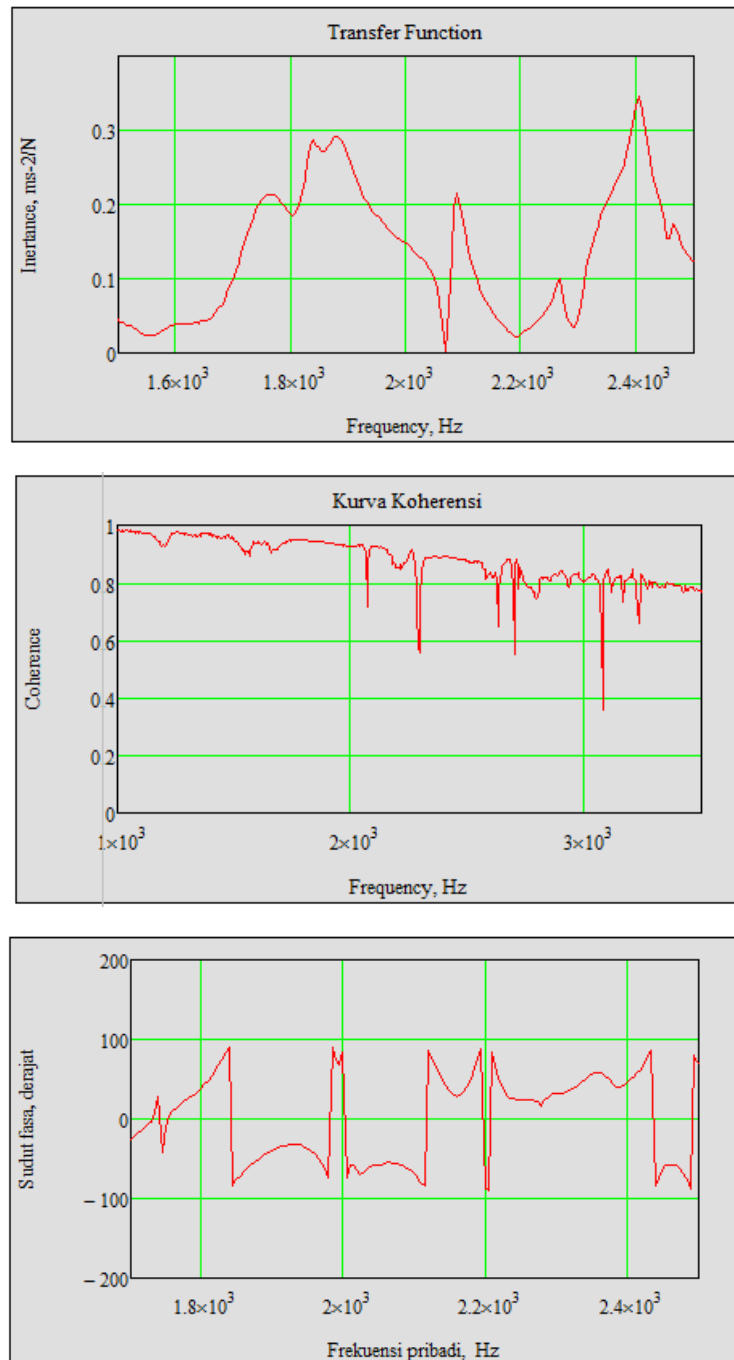


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 4-35-4

TITIK PENGUJIAN “2A”

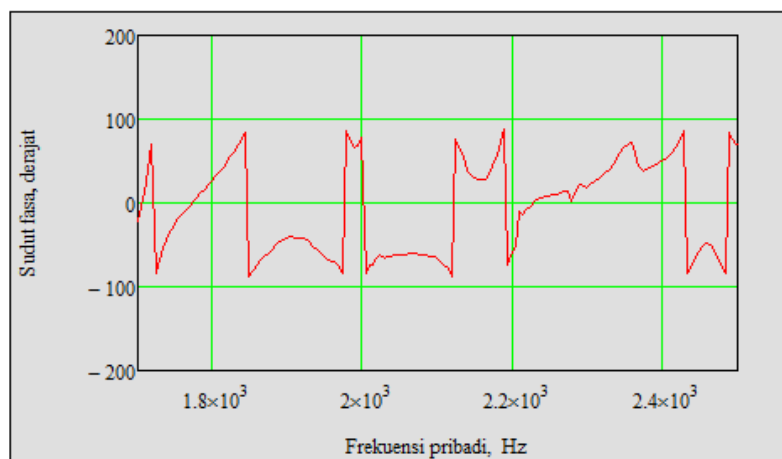
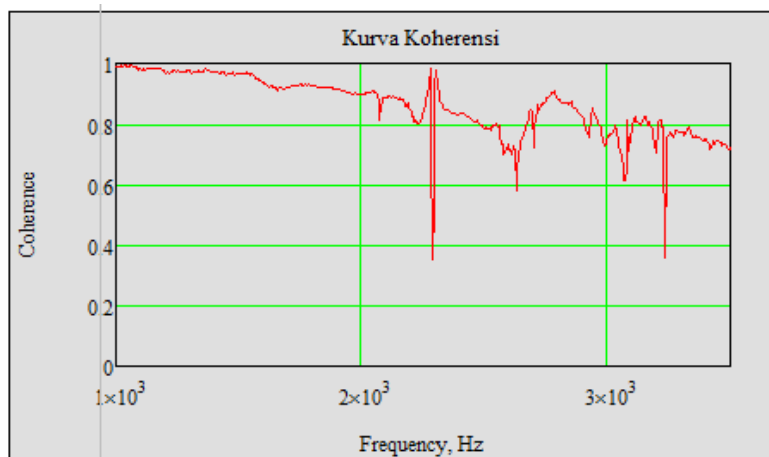
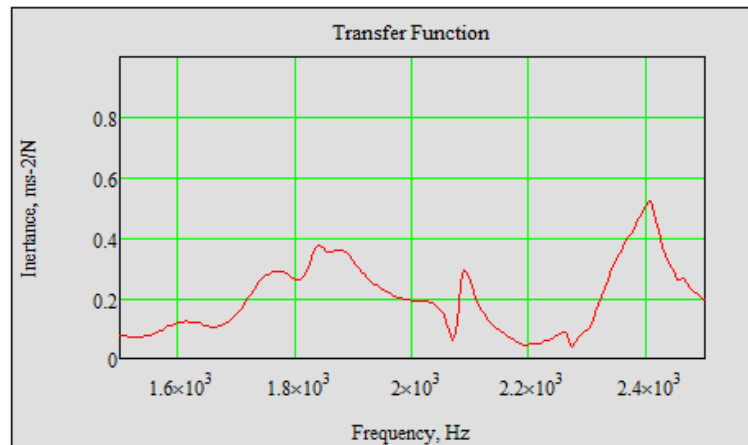


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 4-35-4

TITIK PENGUJIAN “2B”

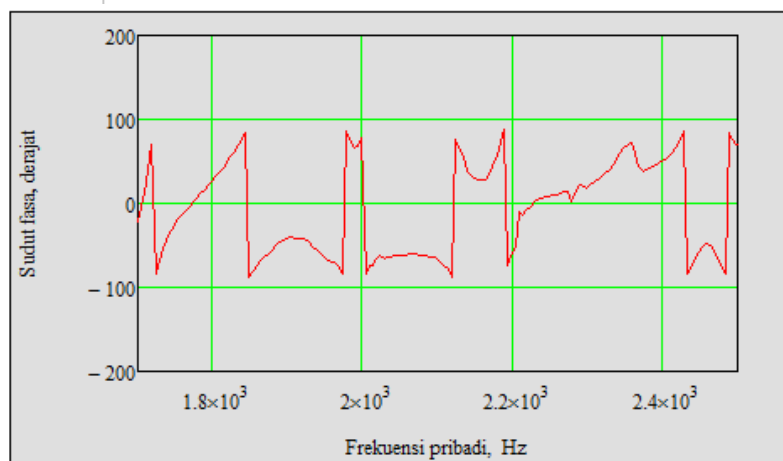
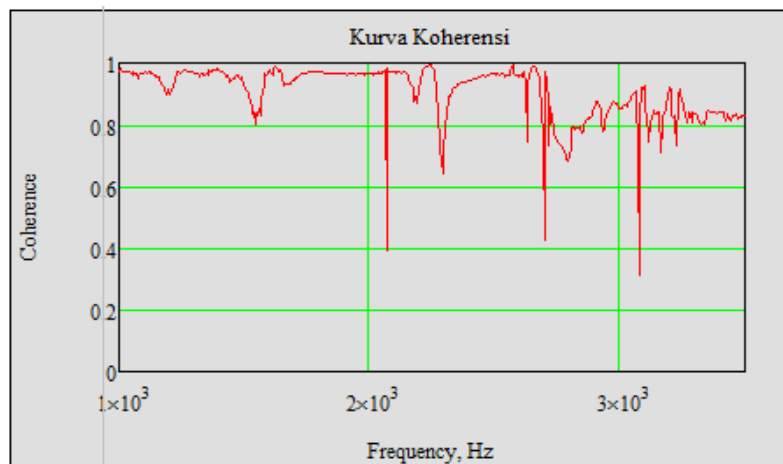
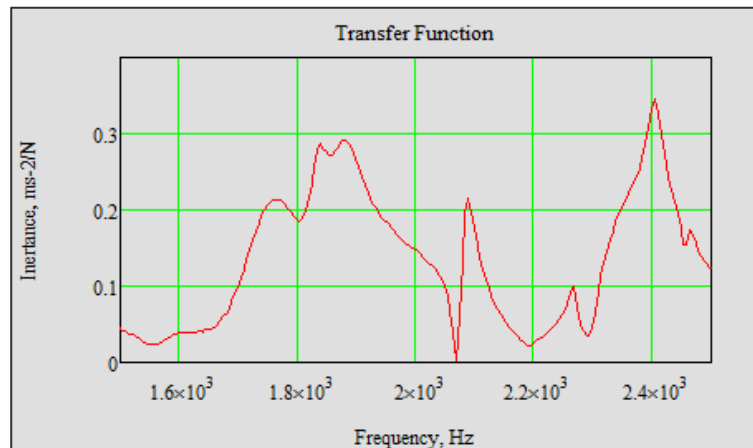


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 4-35-4

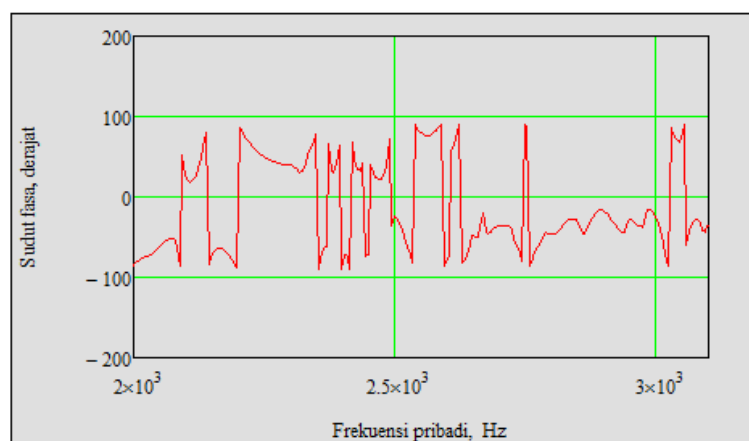
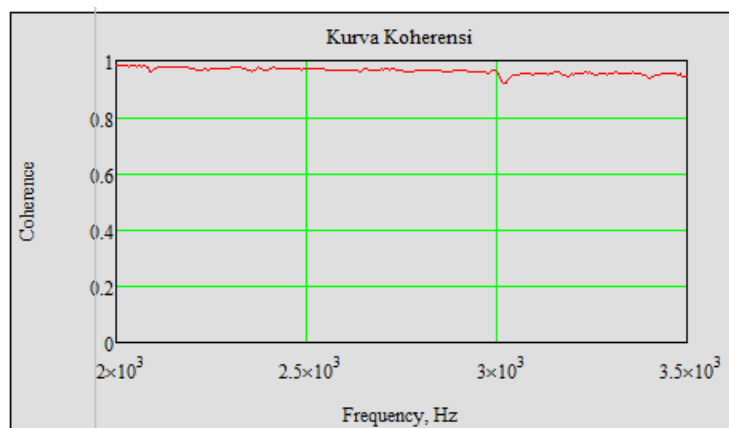
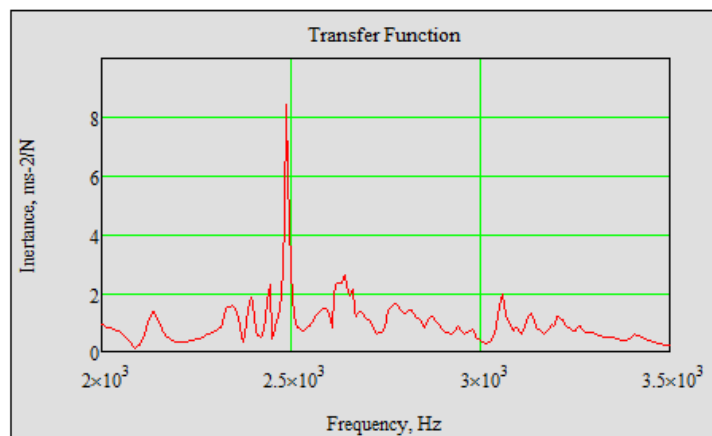
TITIK PENGUJIAN “2C”



PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 6-20-6

TITIK PENGUJIAN “1A”

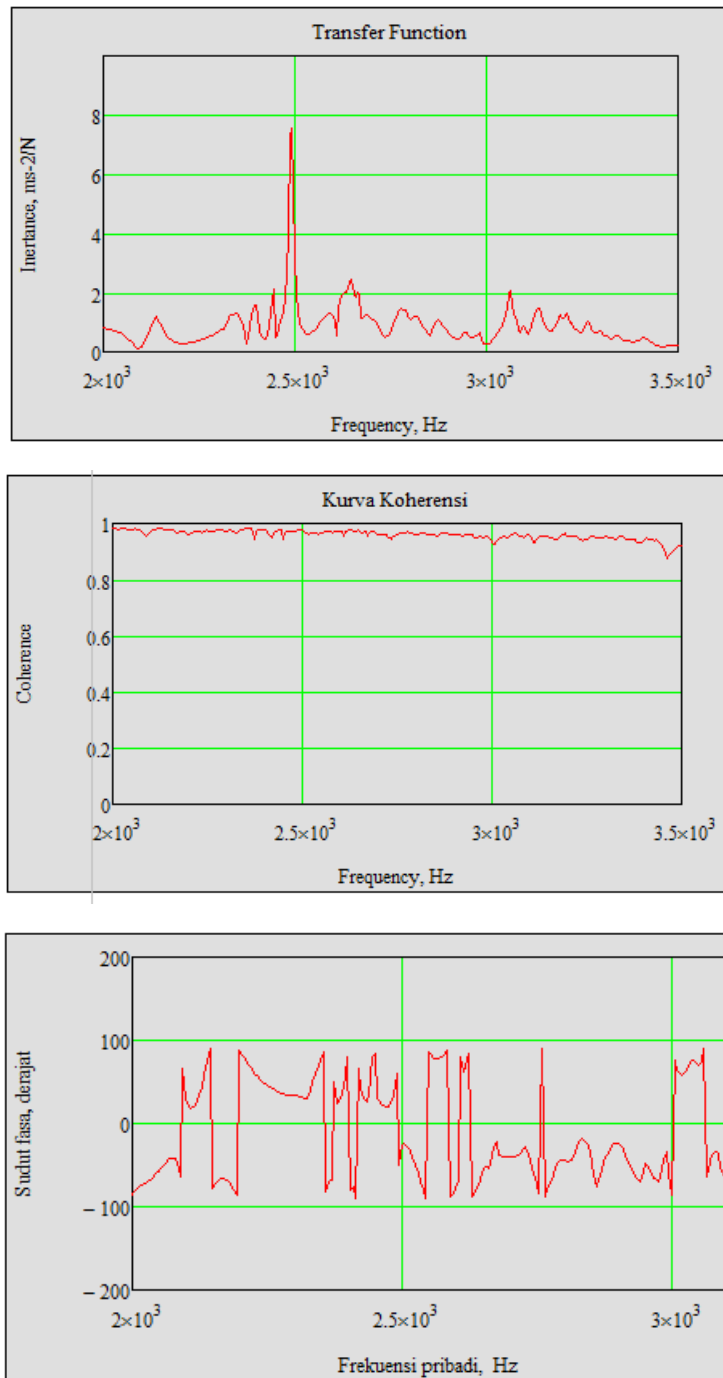


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 6-20-6

TITIK PENGUJIAN “1B”

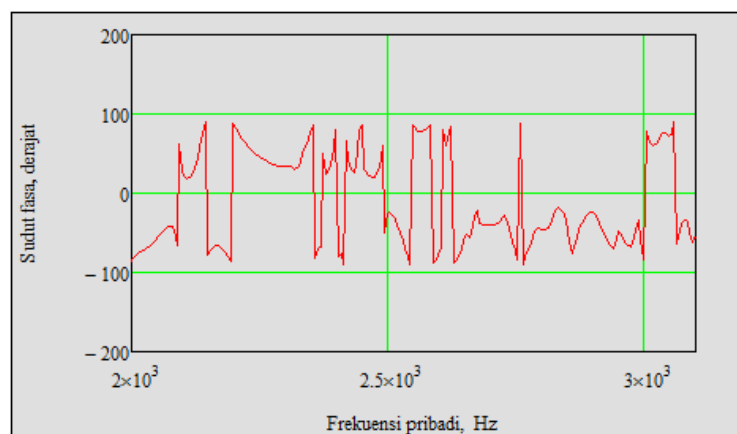
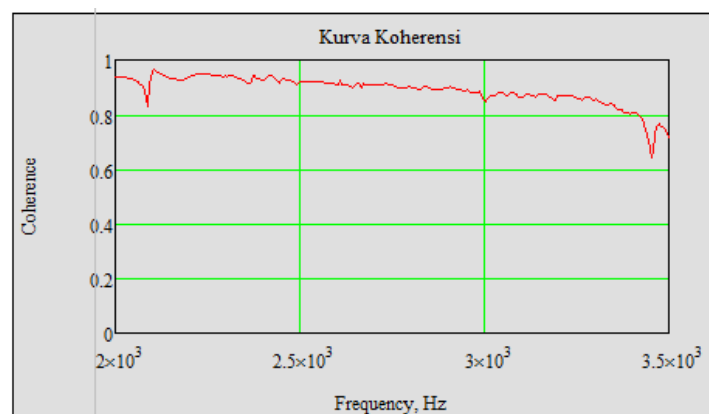
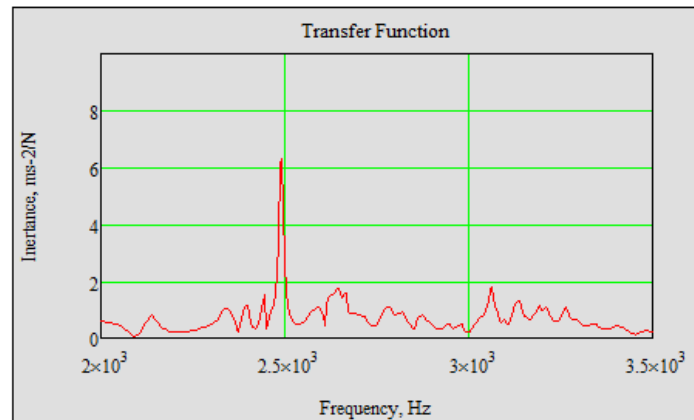


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 6-20-6

TITIK PENGUJIAN “1C”

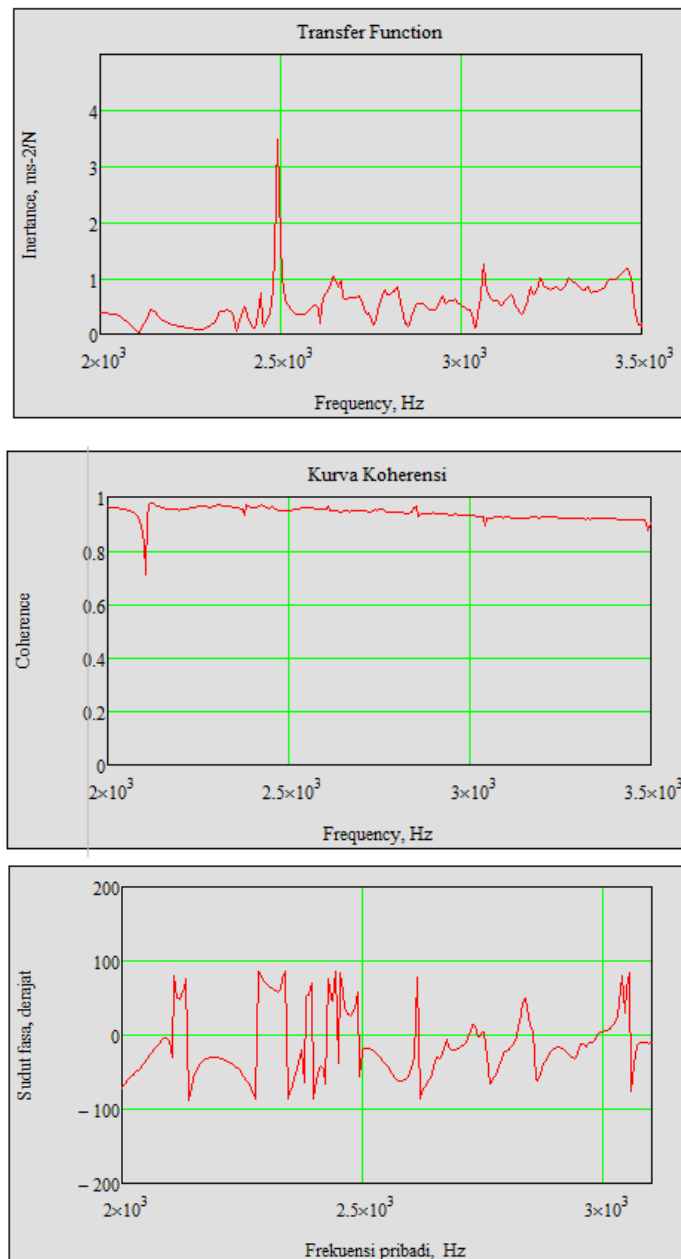


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 6-20-6

TITIK PENGUJIAN “2A”

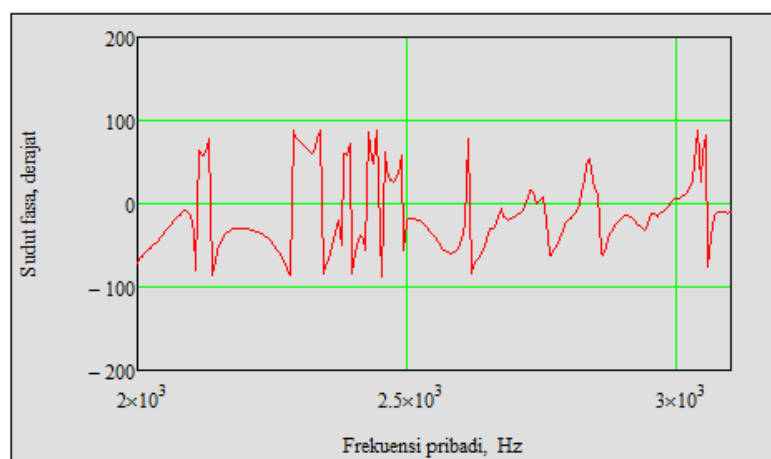
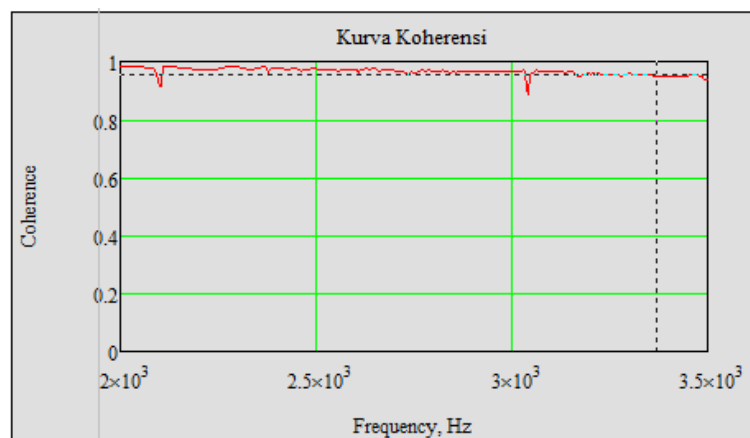
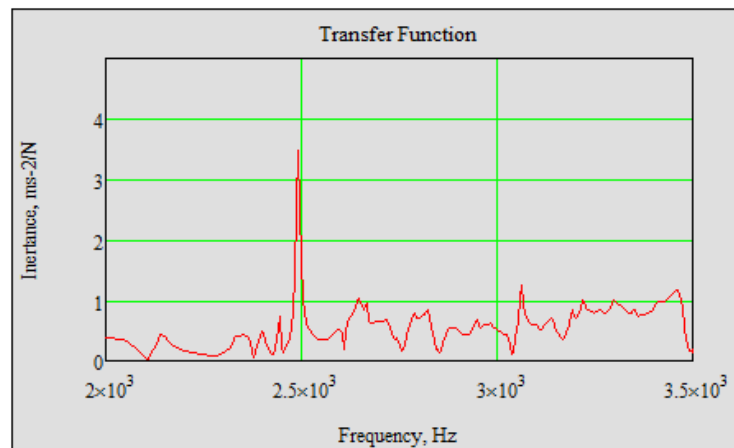


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 6-20-6

TITIK PENGUJIAN “2B”

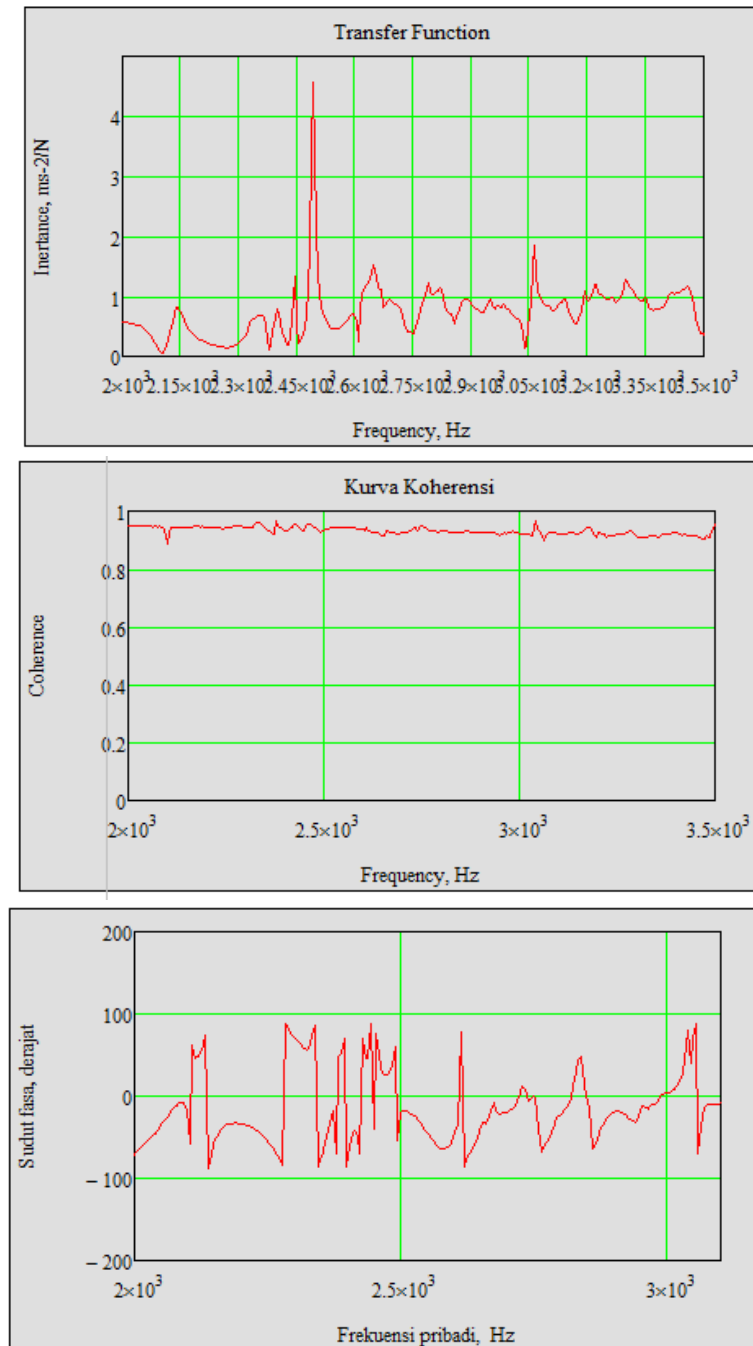


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 6-20-6

TITIK PENGUJIAN "2C"

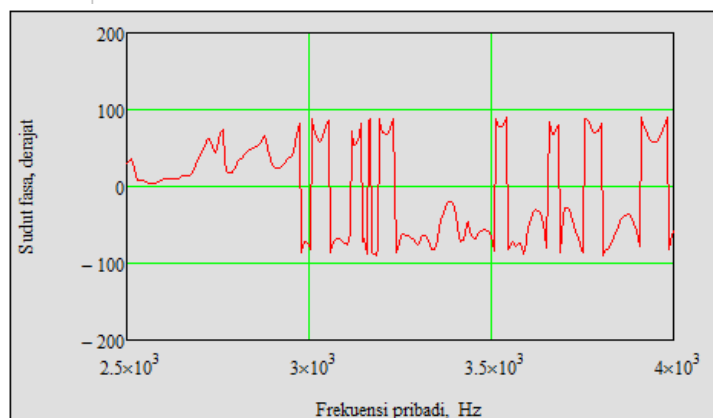
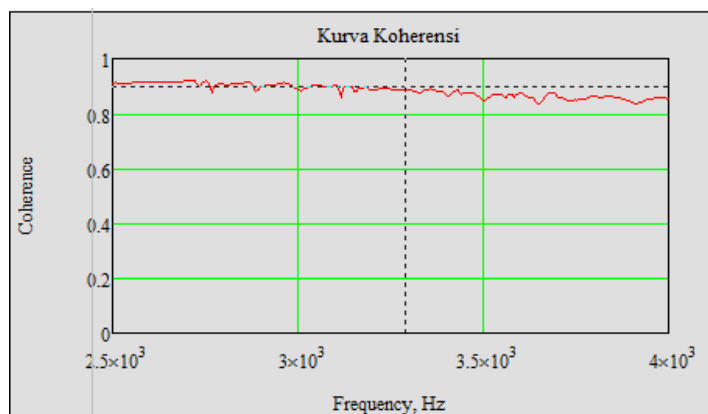
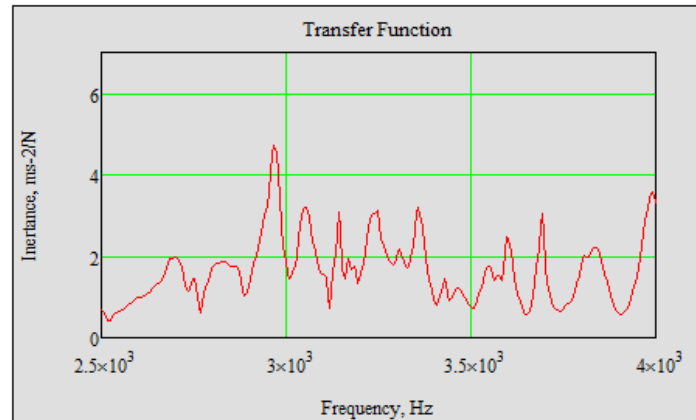


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 6-30-6

TITIK PENGUJIAN “1A”

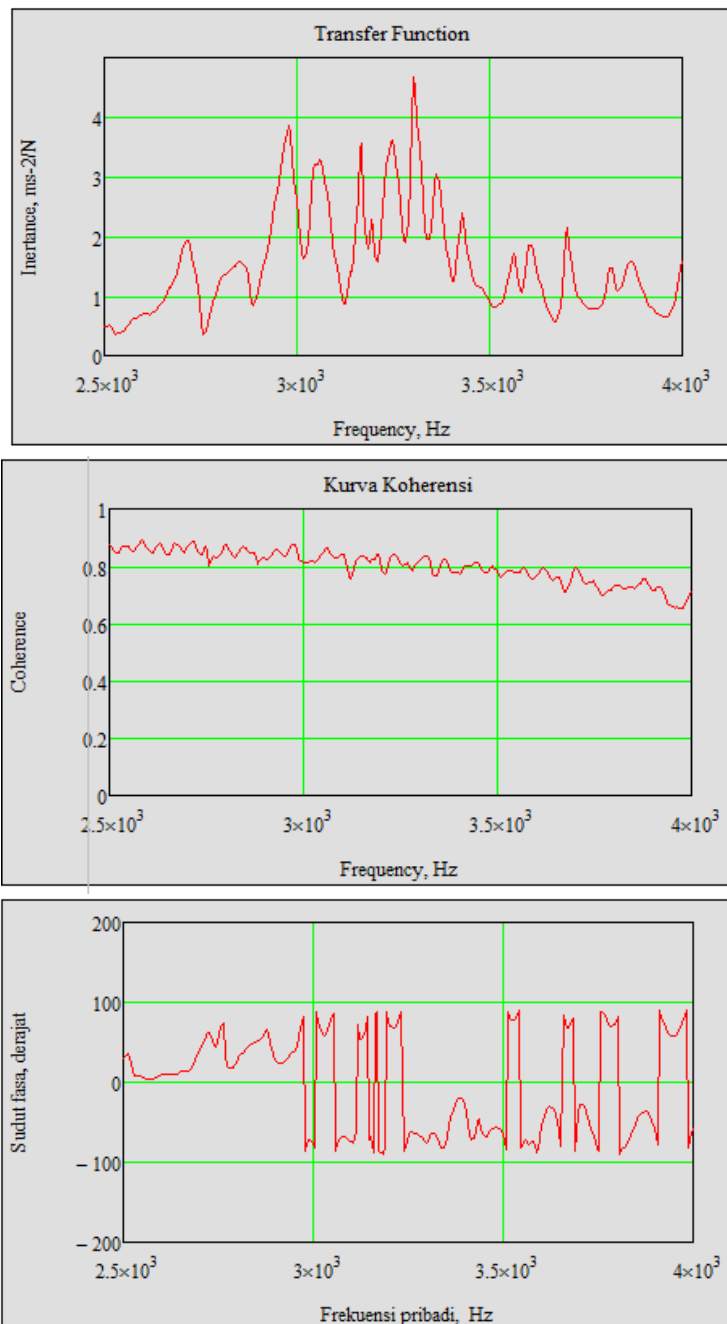


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 6-30-6

TITIK PENGUJIAN “1B”

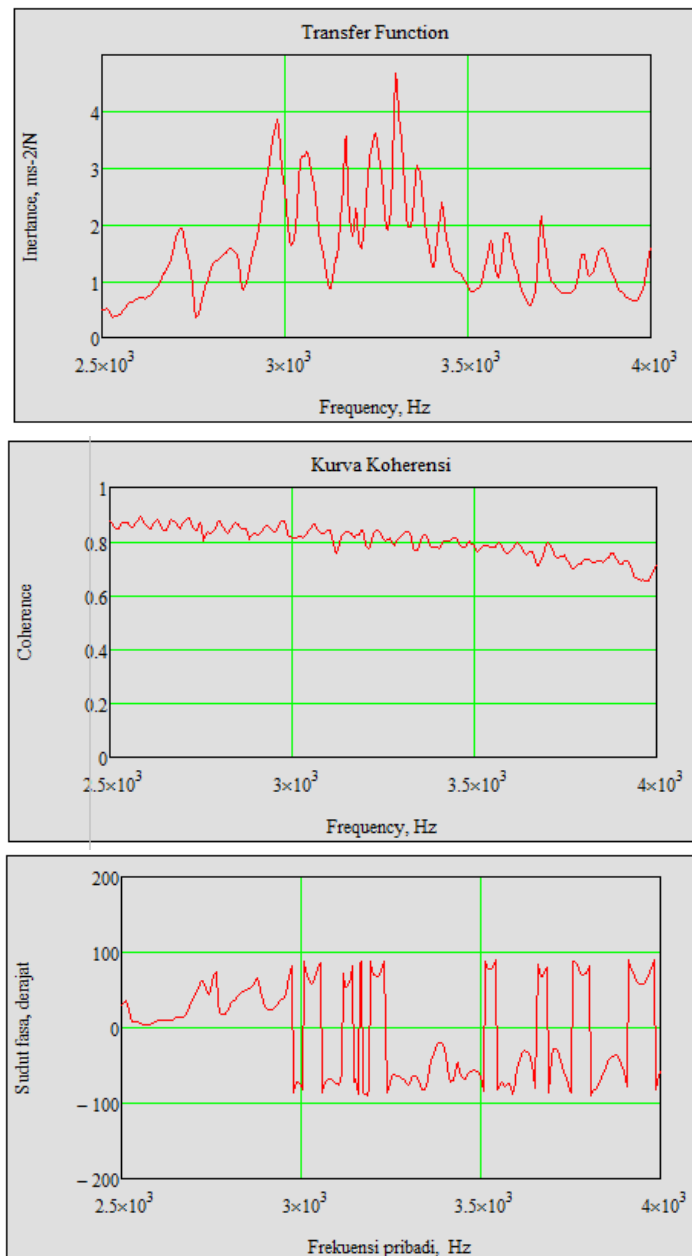


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 6-30-6

TITIK PENGUJIAN “1C”

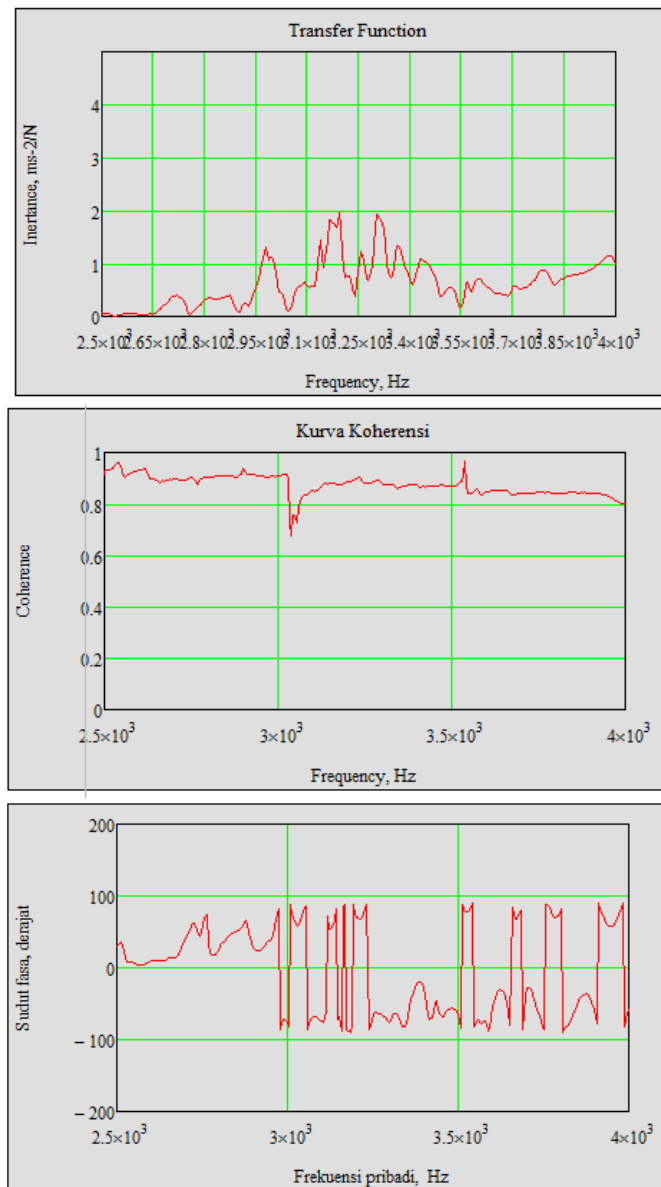


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 6-30-6

TITIK PENGUJIAN “2A”

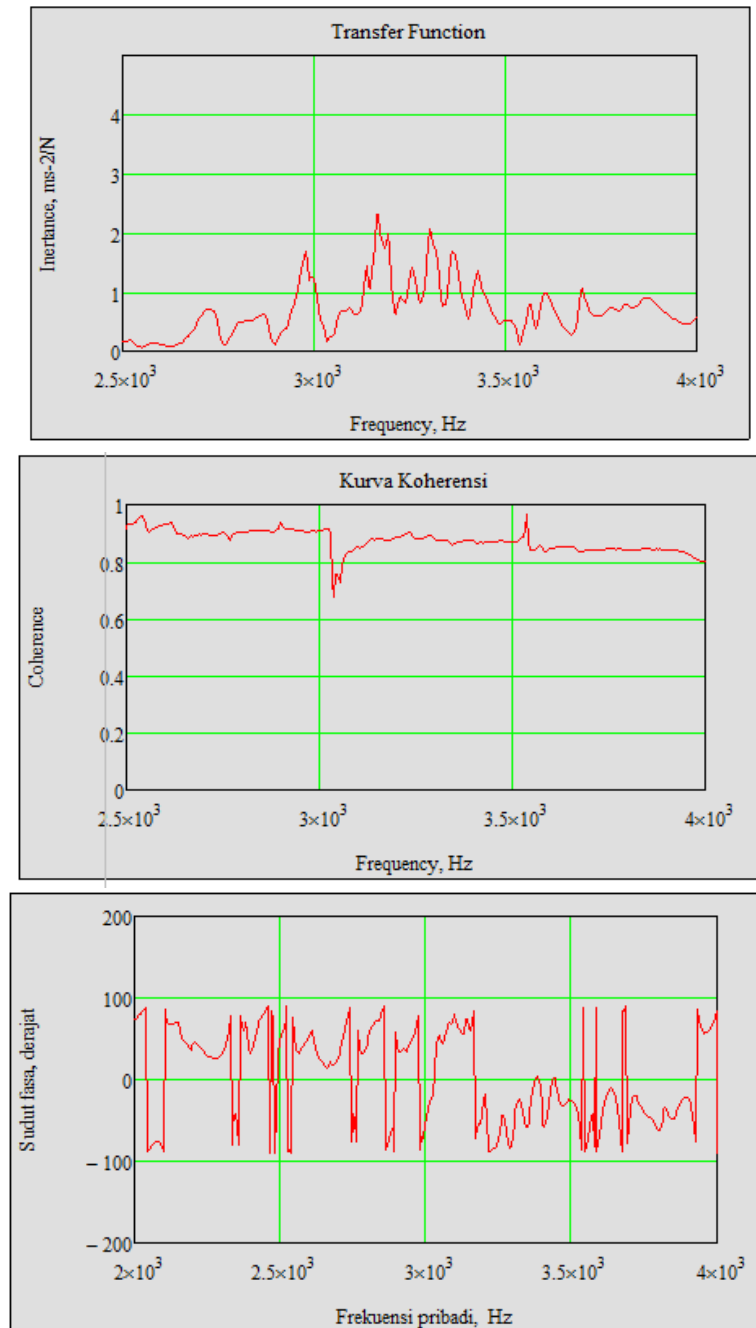


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 6-30-6

TITIK PENGUJIAN “2B”

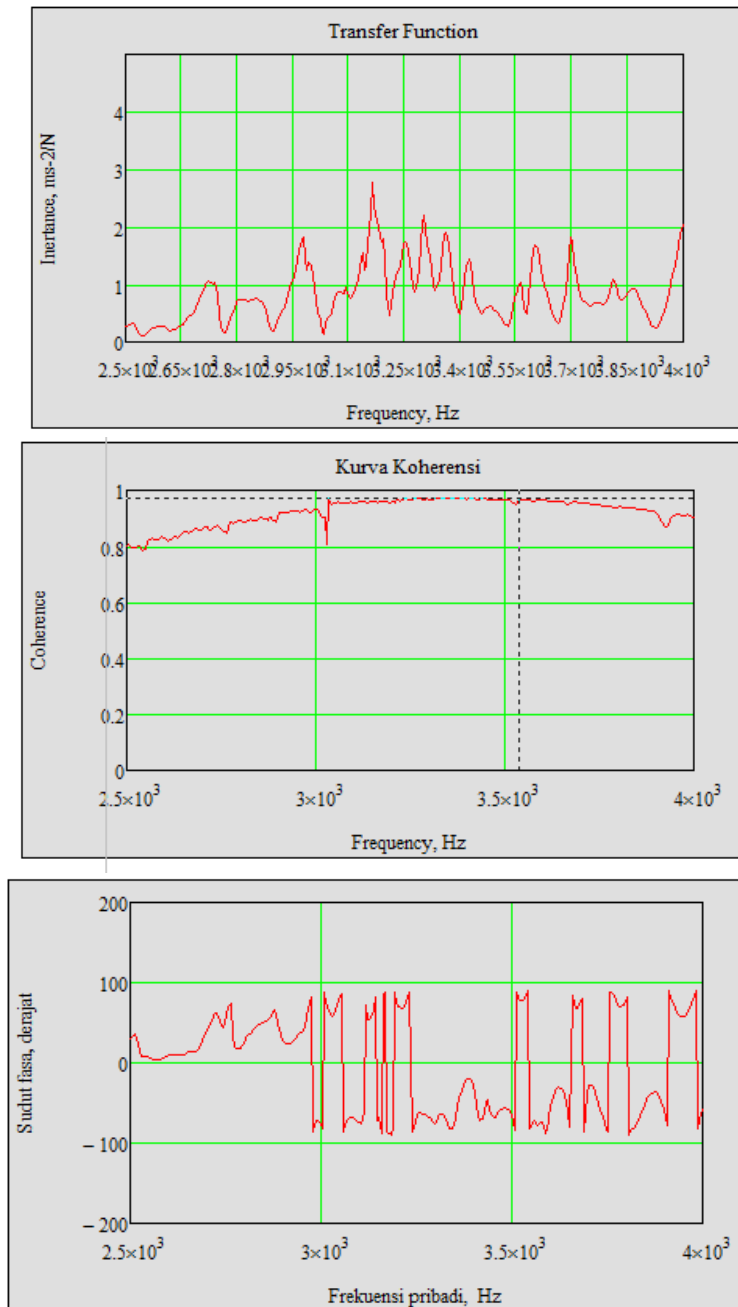


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL UTUH

DIMENSI 6-30-6

TITIK PENGUJIAN “2C”

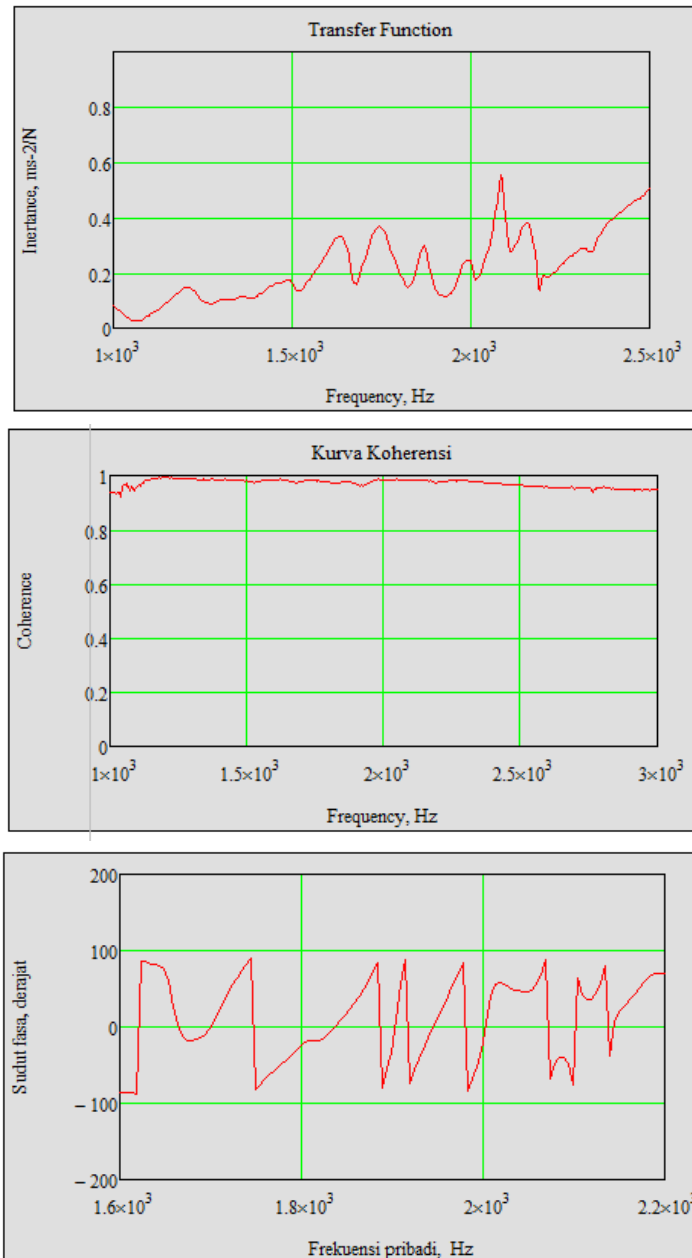


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 4-30-4

TITIK PENGUJIAN “1A”

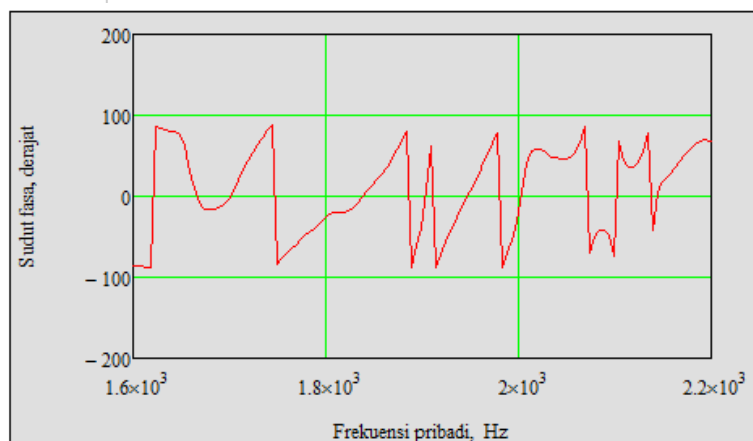
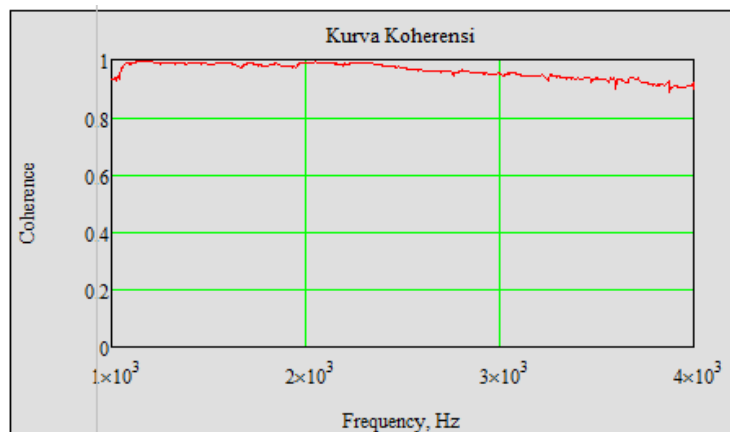
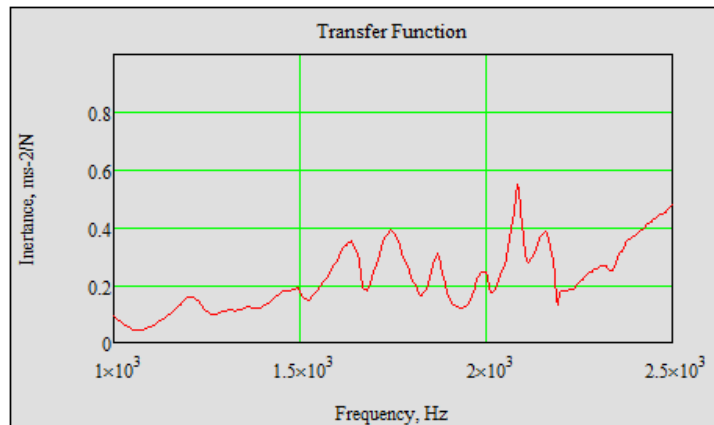


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 4-30-4

TITIK PENGUJIAN “1B”

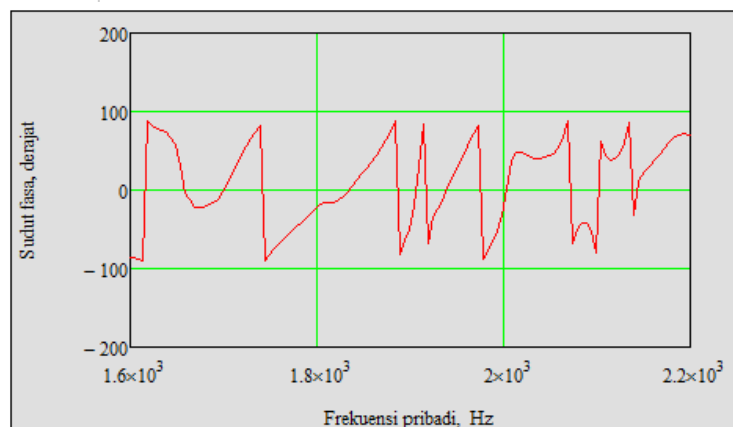
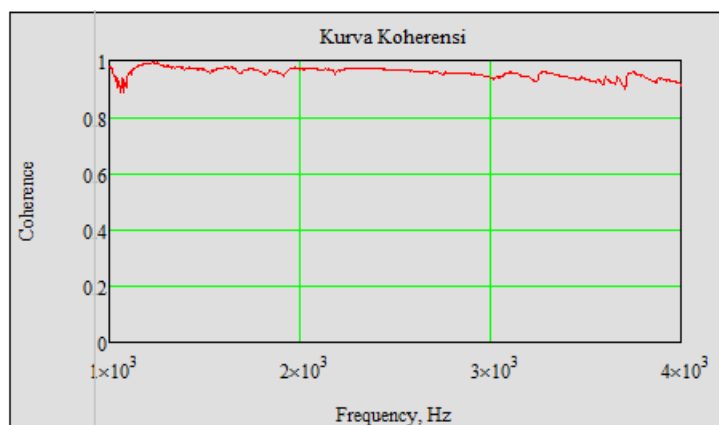
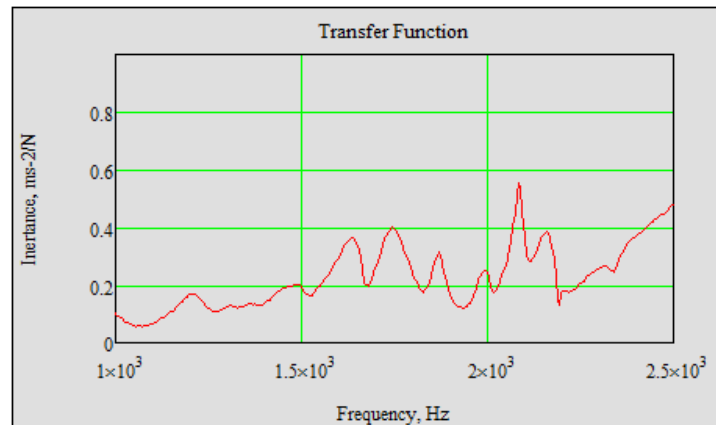


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 4-30-4

TITIK PENGUJIAN "1C"

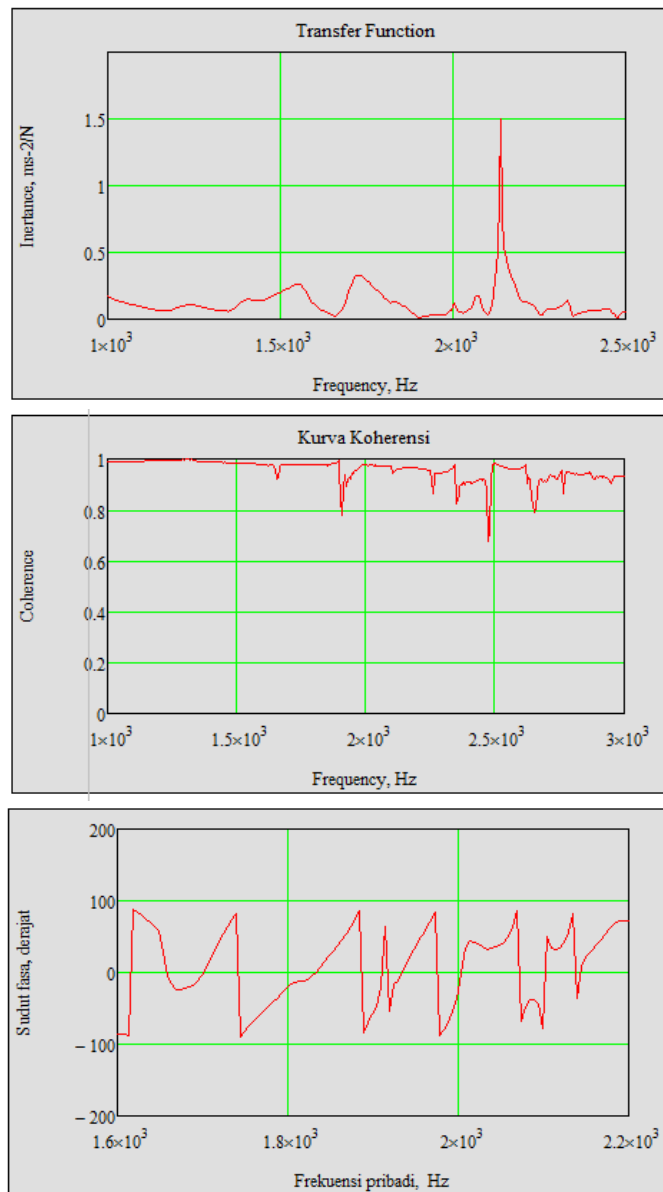


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 4-30-4

TITIK PENGUJIAN “2A”

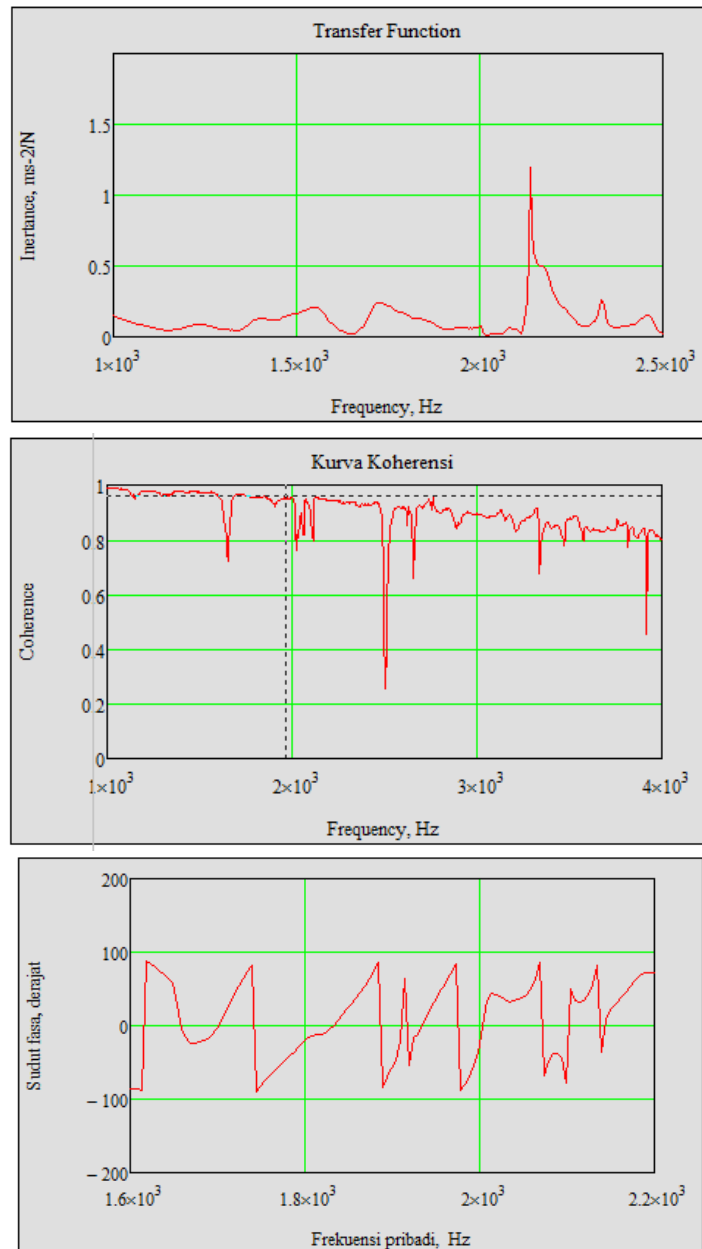


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 4-30-4

TITIK PENGUJIAN “2B”

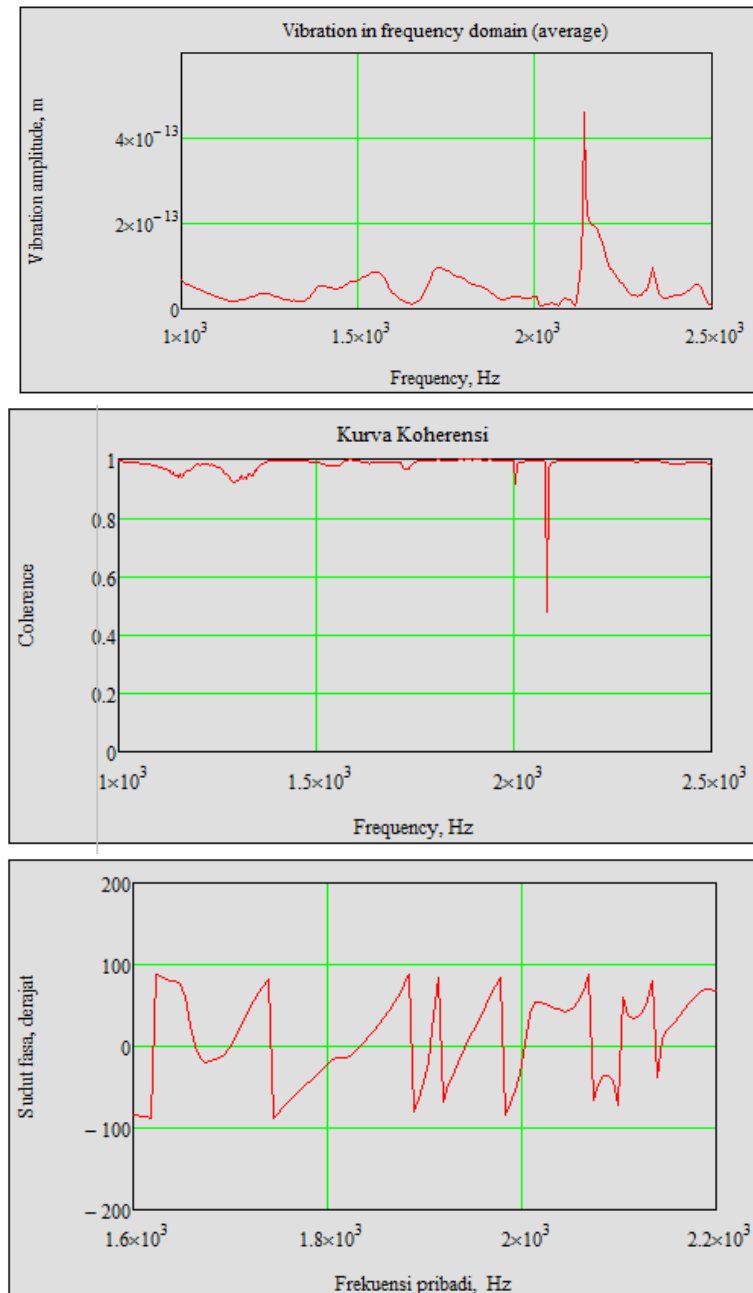


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 4-30-4

TITIK PENGUJIAN “2C”

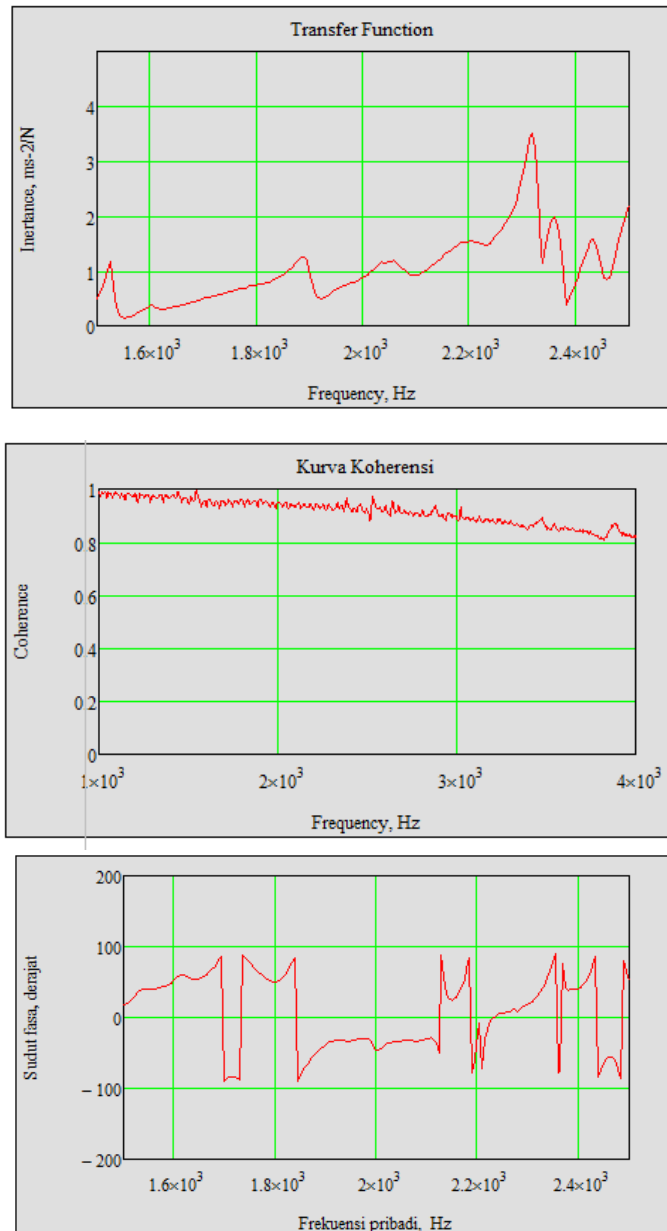


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 4-35-4

TITIK PENGUJIAN “1A”

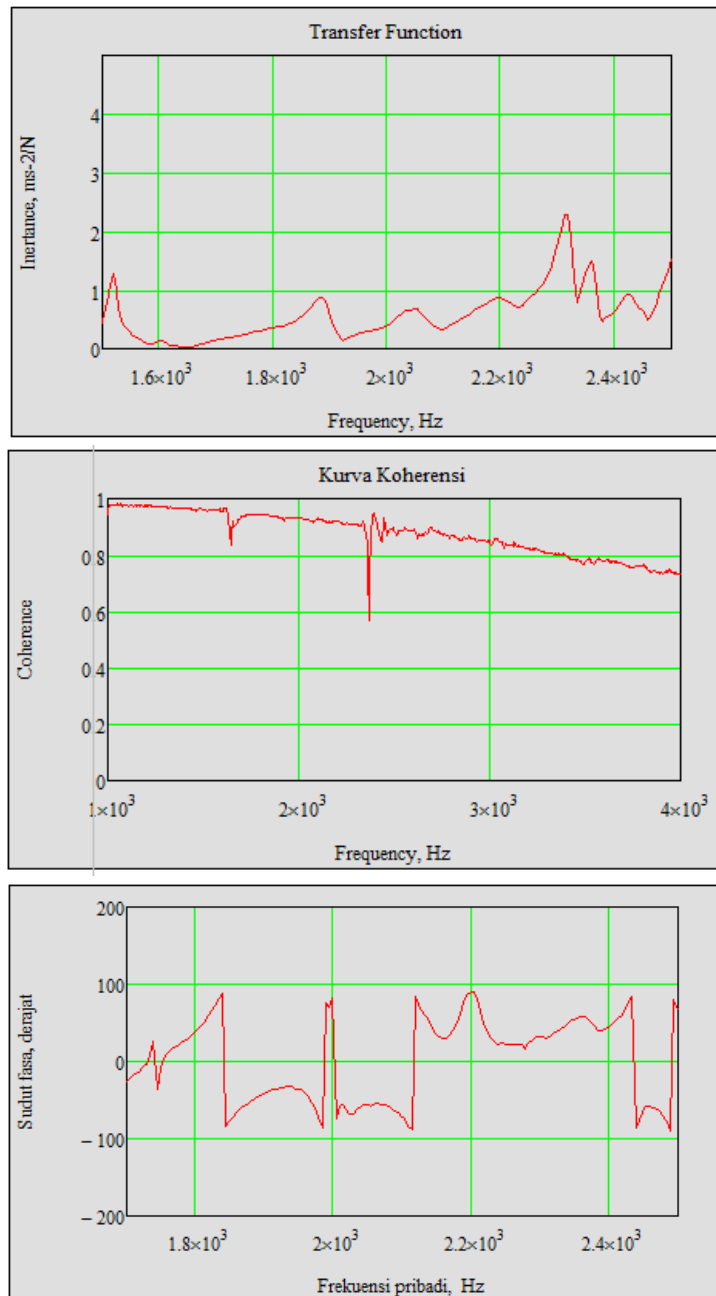


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 4-35-4

TITIK PENGUJIAN “1B”

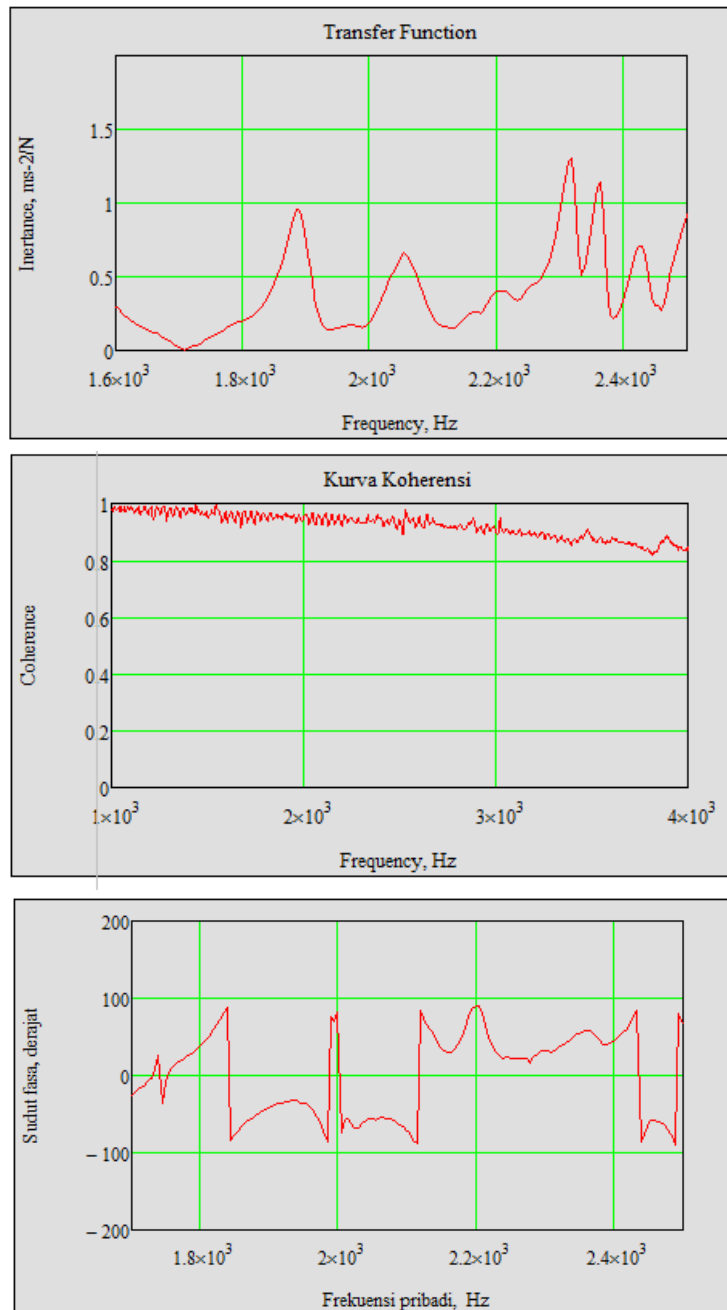


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 4-35-4

TITIK PENGUJIAN "1C"

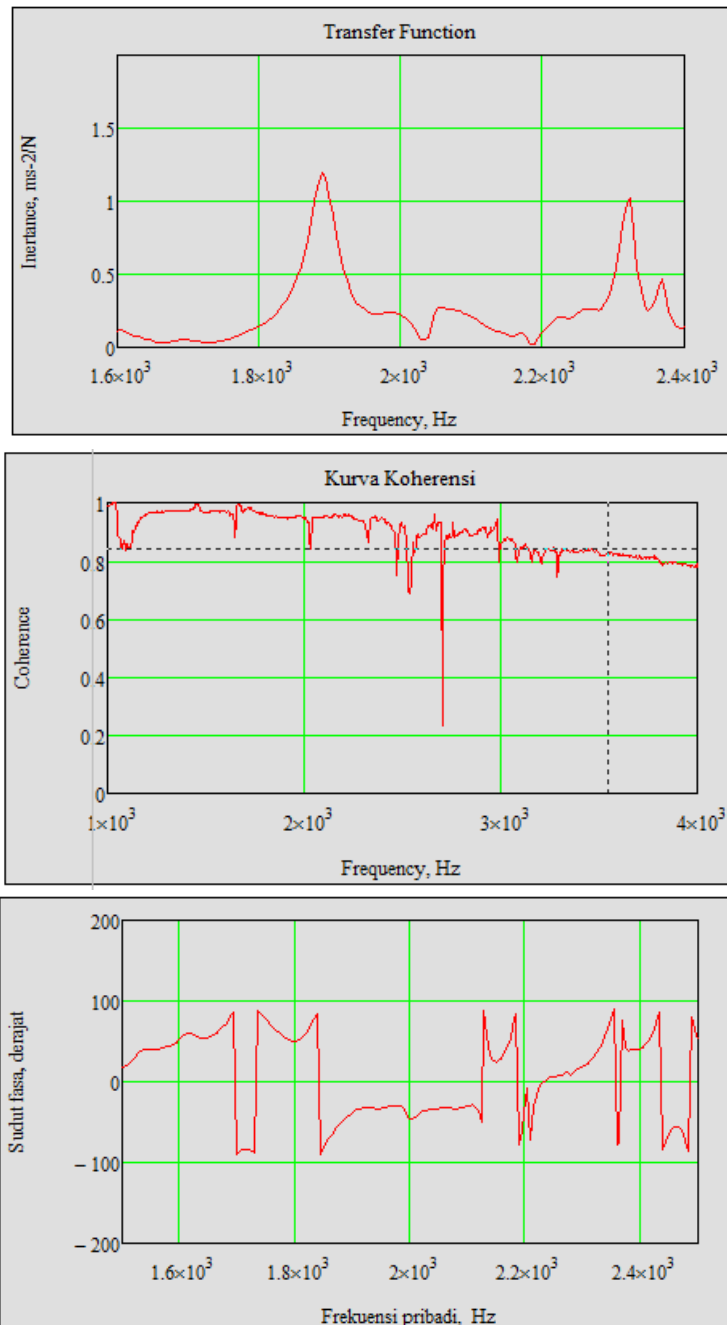


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 4-35-4

TITIK PENGUJIAN “2A”

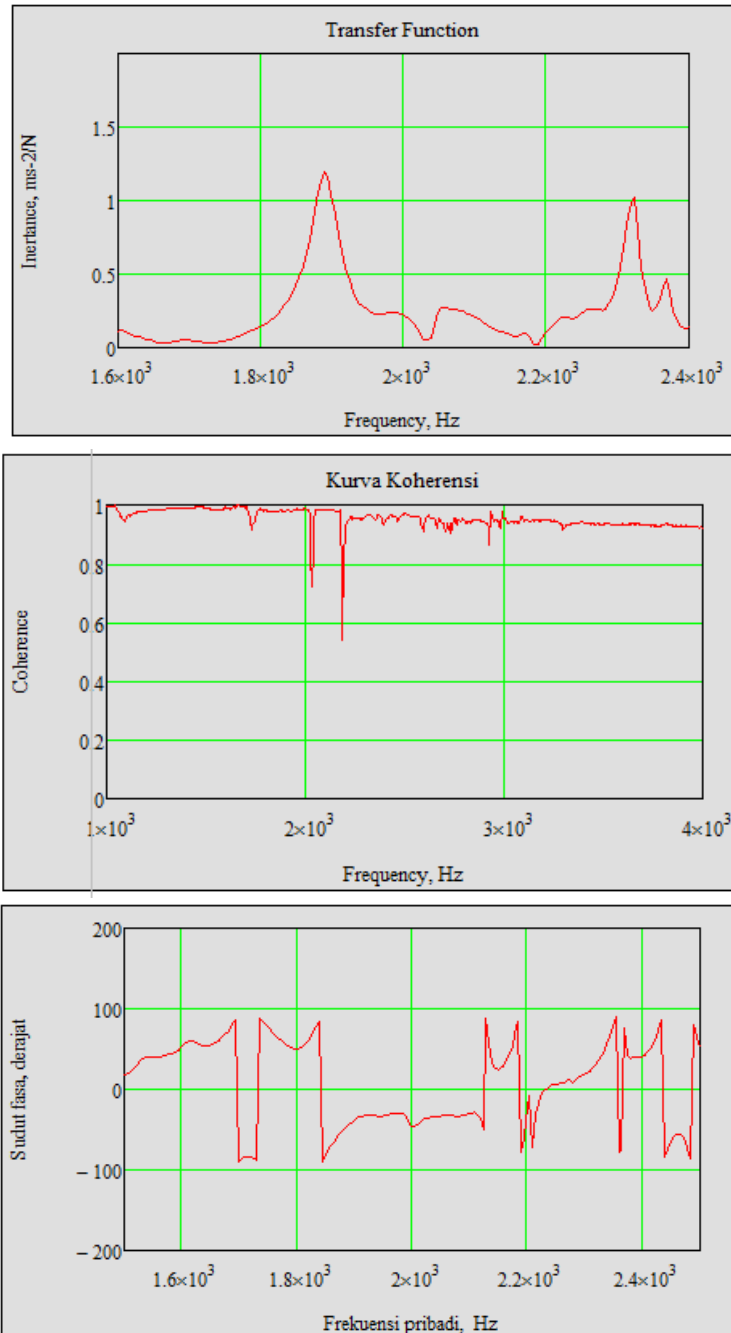


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 4-35-4

TITIK PENGUJIAN “2B”

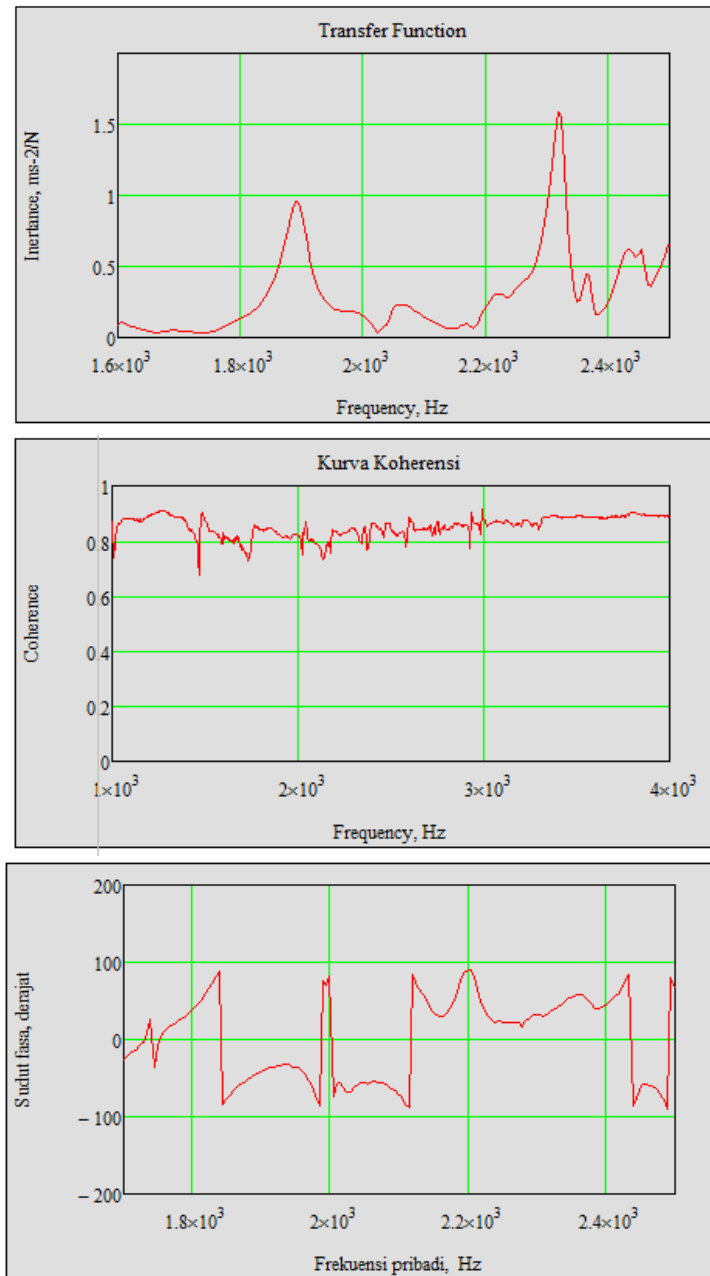


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 4-35-4

TITIK PENGUJIAN “2C”

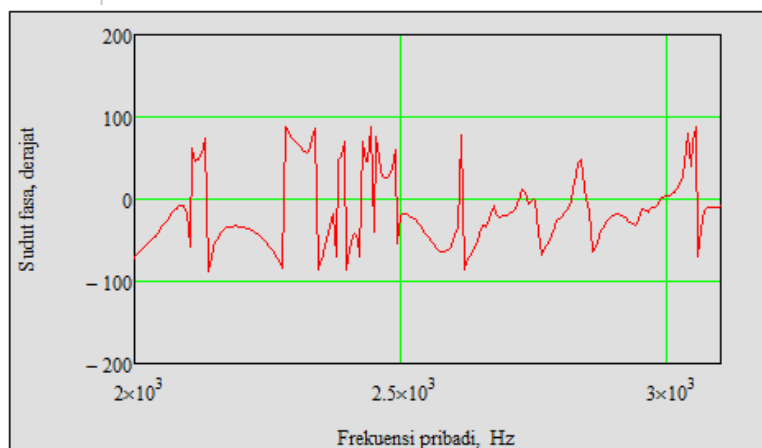
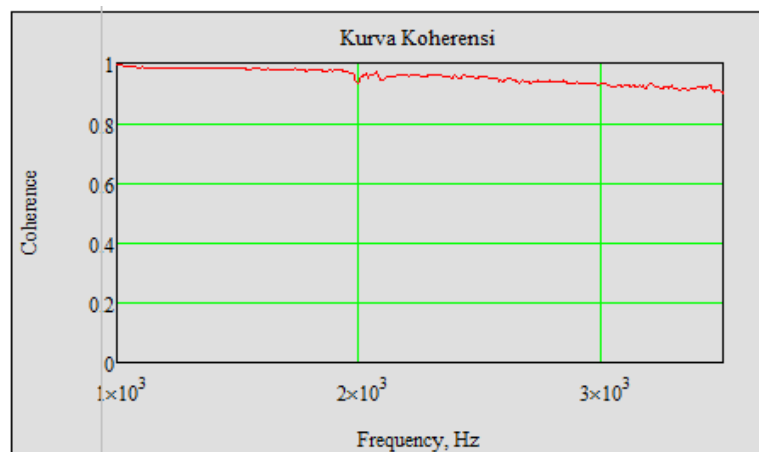
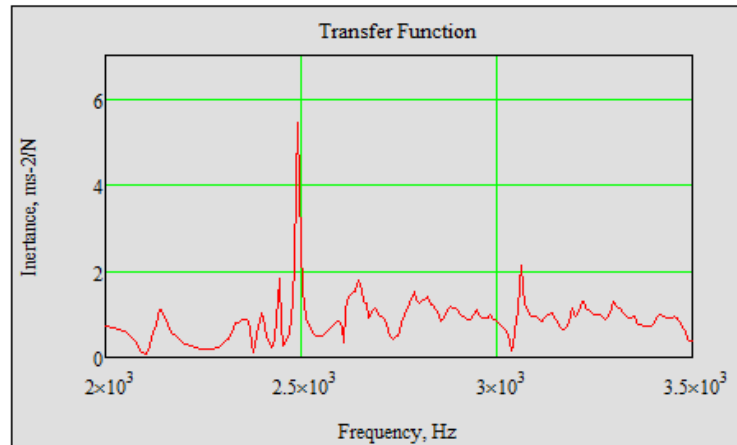


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 6-20-6

TITIK PENGUJIAN “1A”

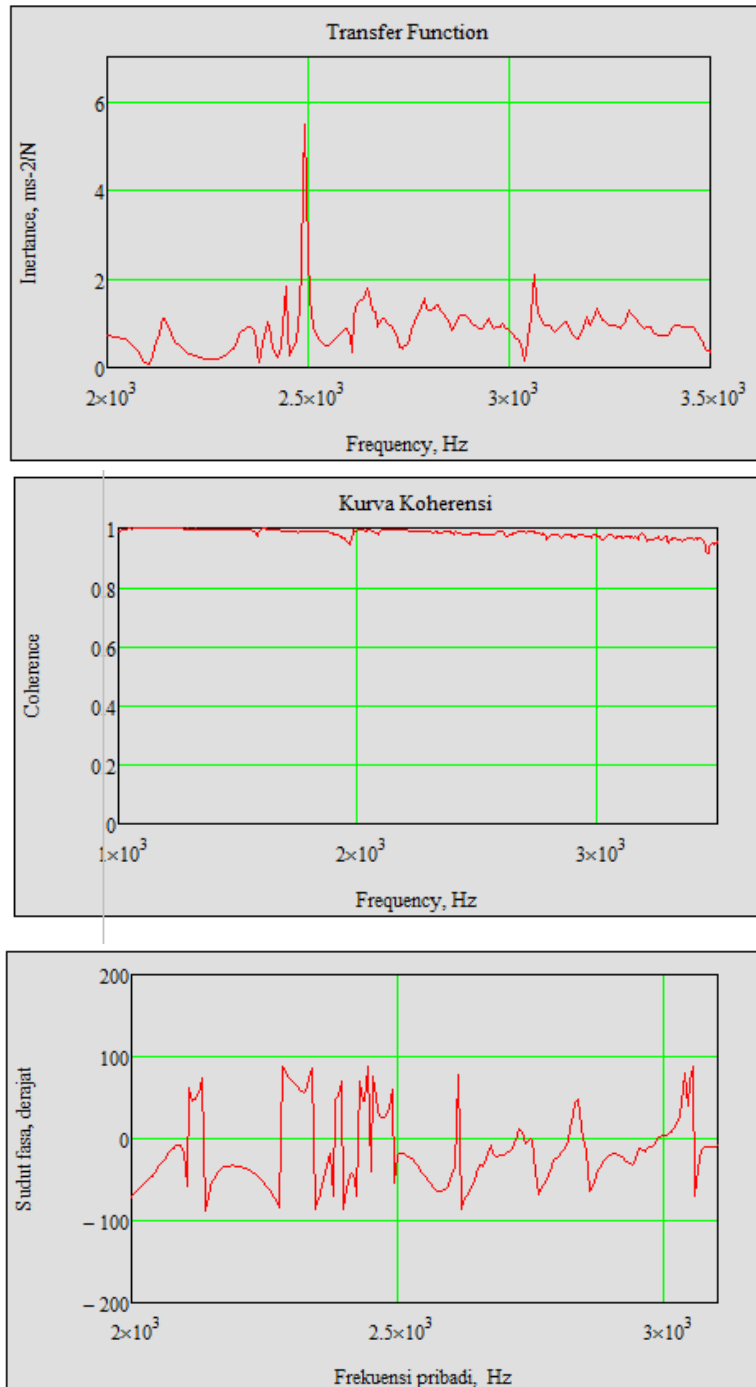


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 6-20-6

TITIK PENGUJIAN “1B”

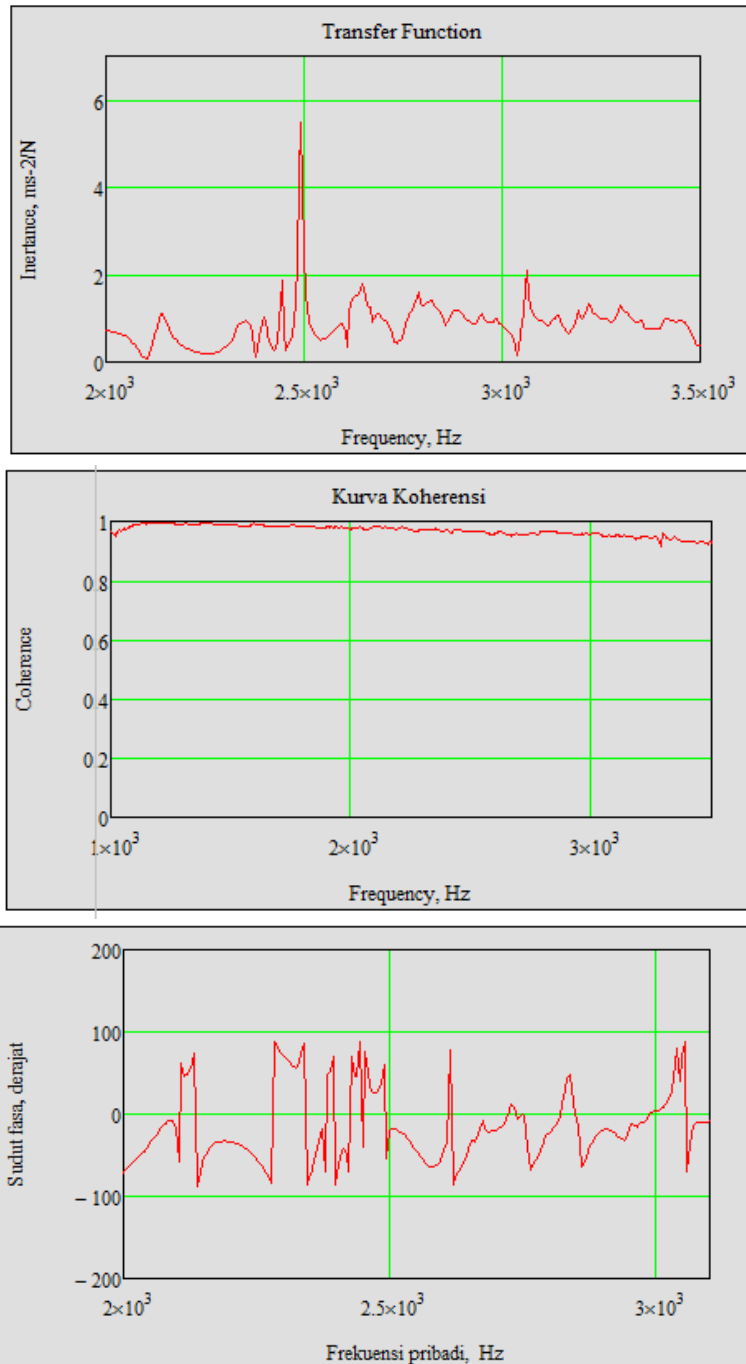


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 6-20-6

TITIK PENGUJIAN "1C"

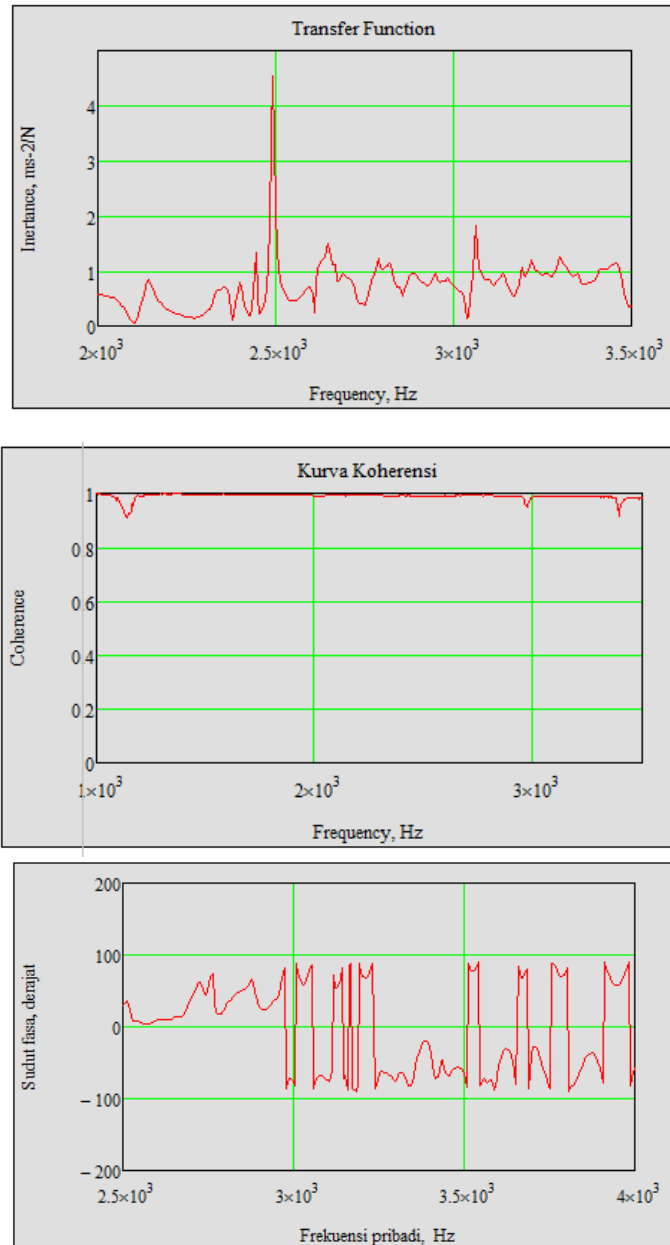


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 6-20-6

TITIK PENGUJIAN “2A”

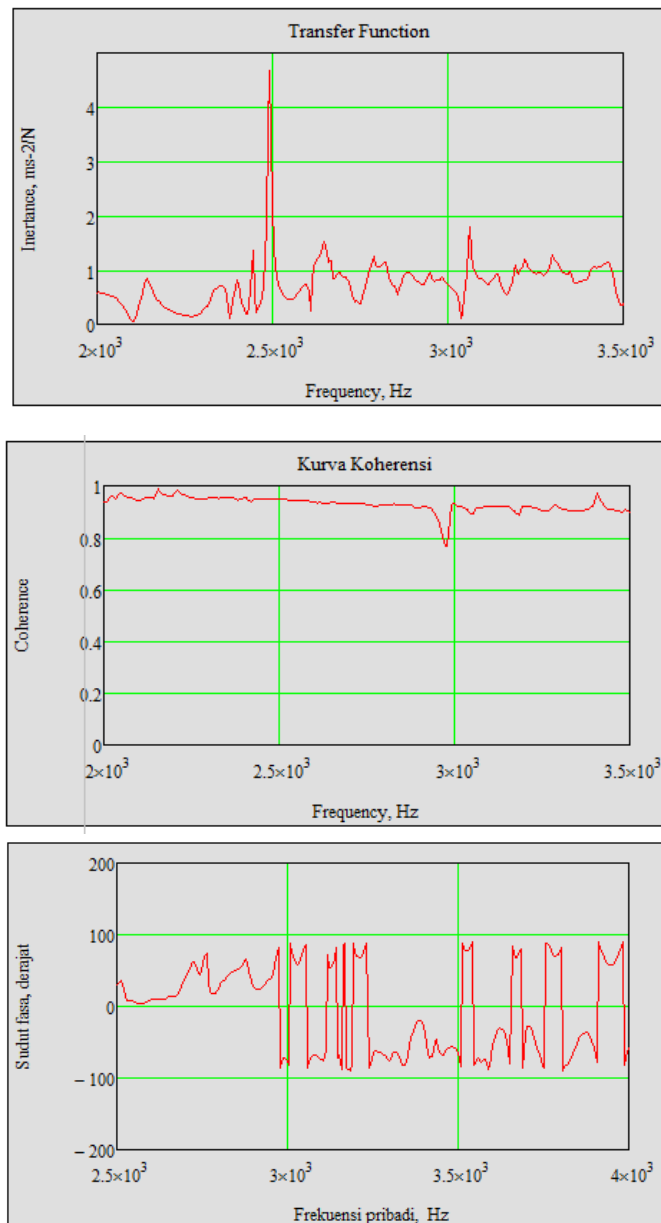


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 6-20-6

TITIK PENGUJIAN “2B”



screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 6-20-6

TITIK PENGUJIAN “2C”

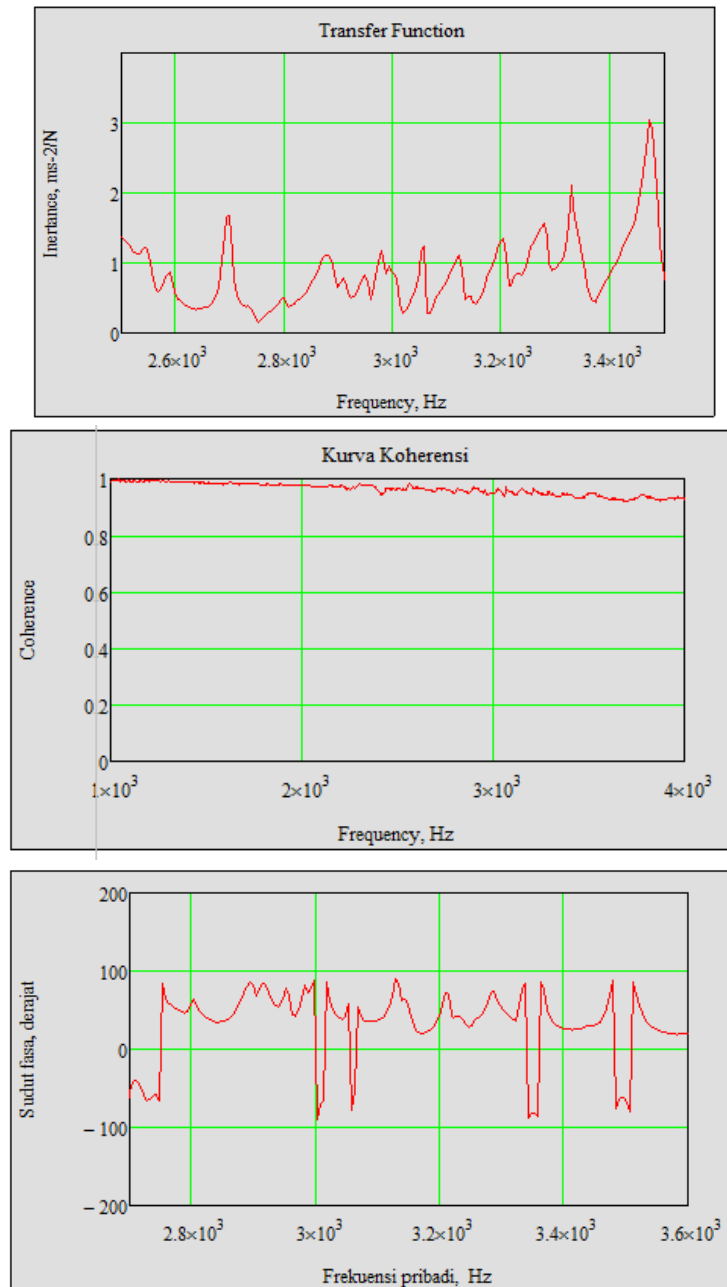


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 6-30-6

TITIK PENGUJIAN “1A”

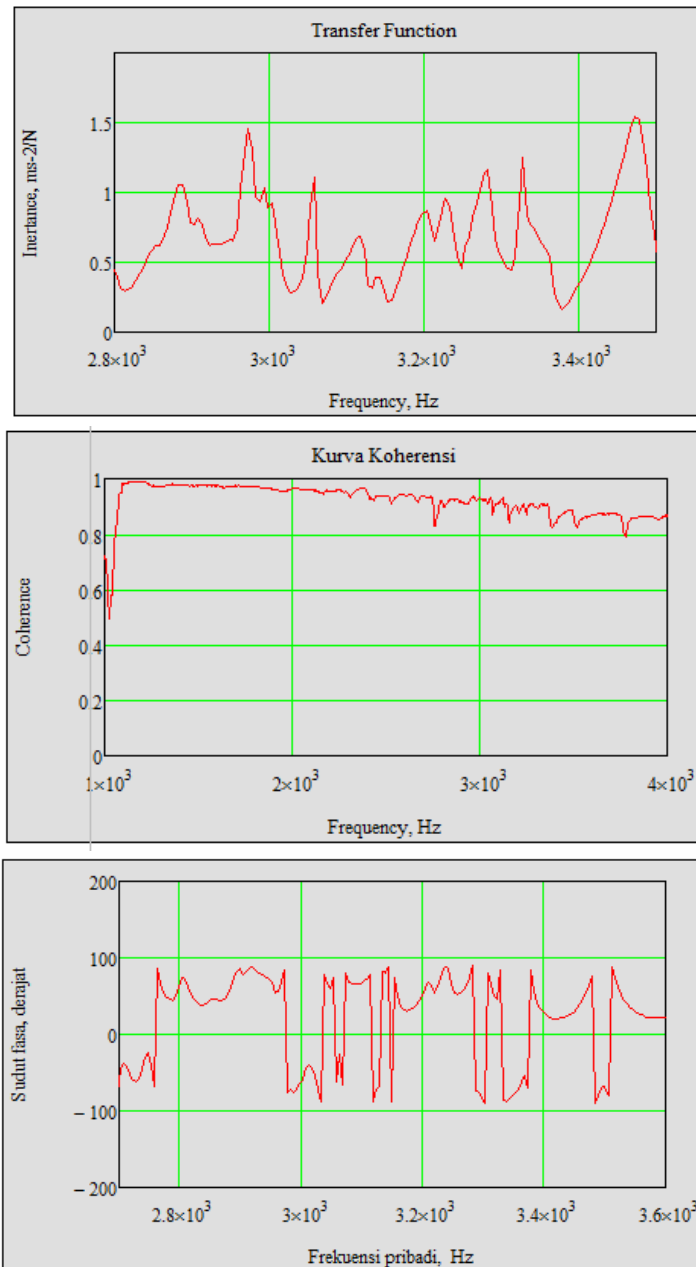


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 6-30-6

TITIK PENGUJIAN “1B”

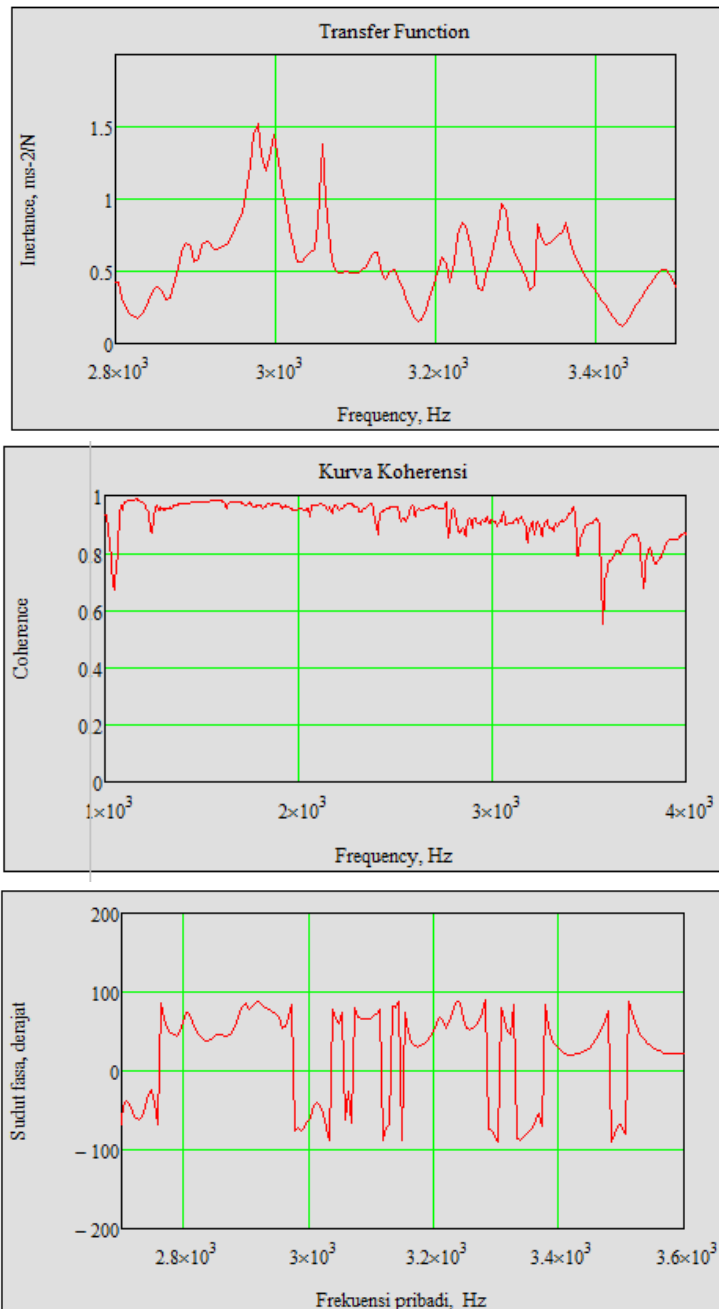


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 6-30-6

TITIK PENGUJIAN "1C"

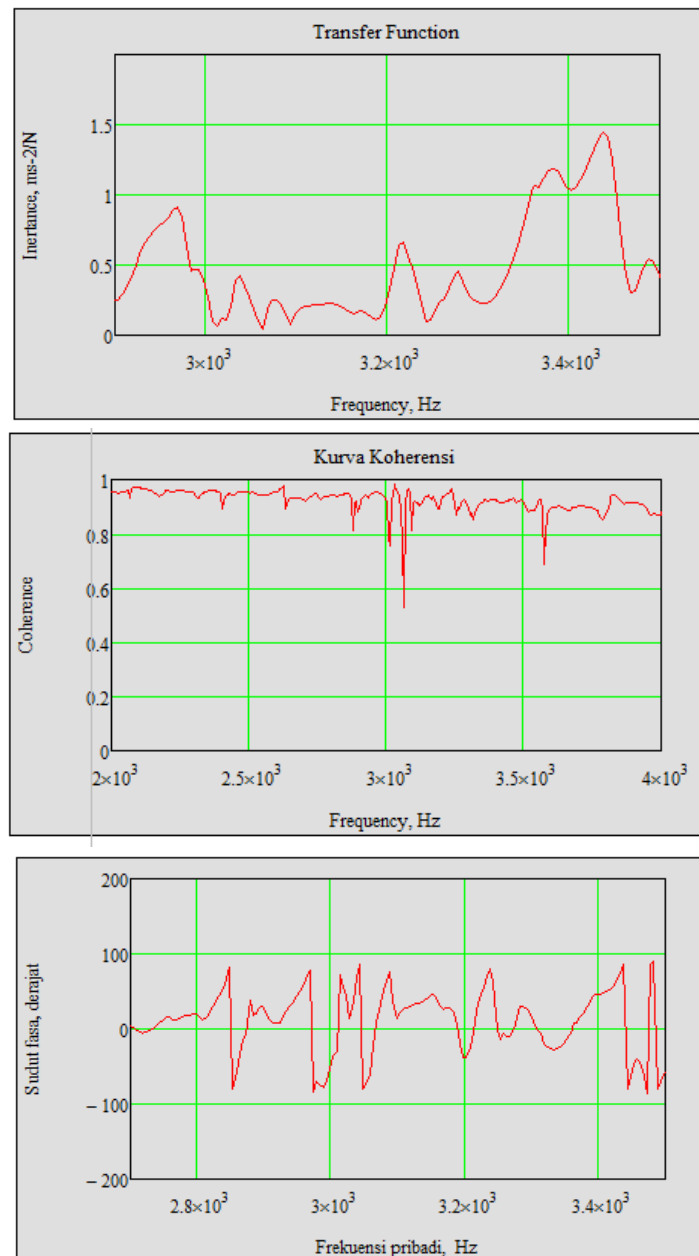


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 6-30-6

TITIK PENGUJIAN “2A”

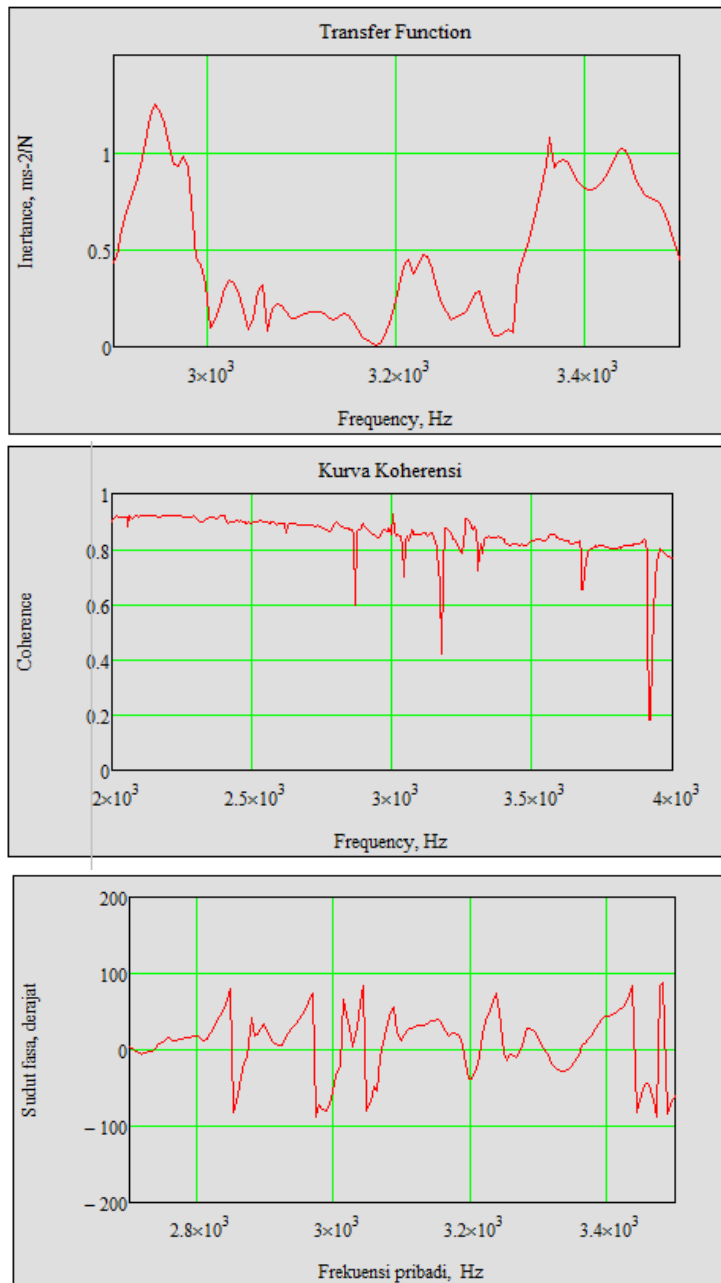


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 6-30-6

TITIK PENGUJIAN “2B”

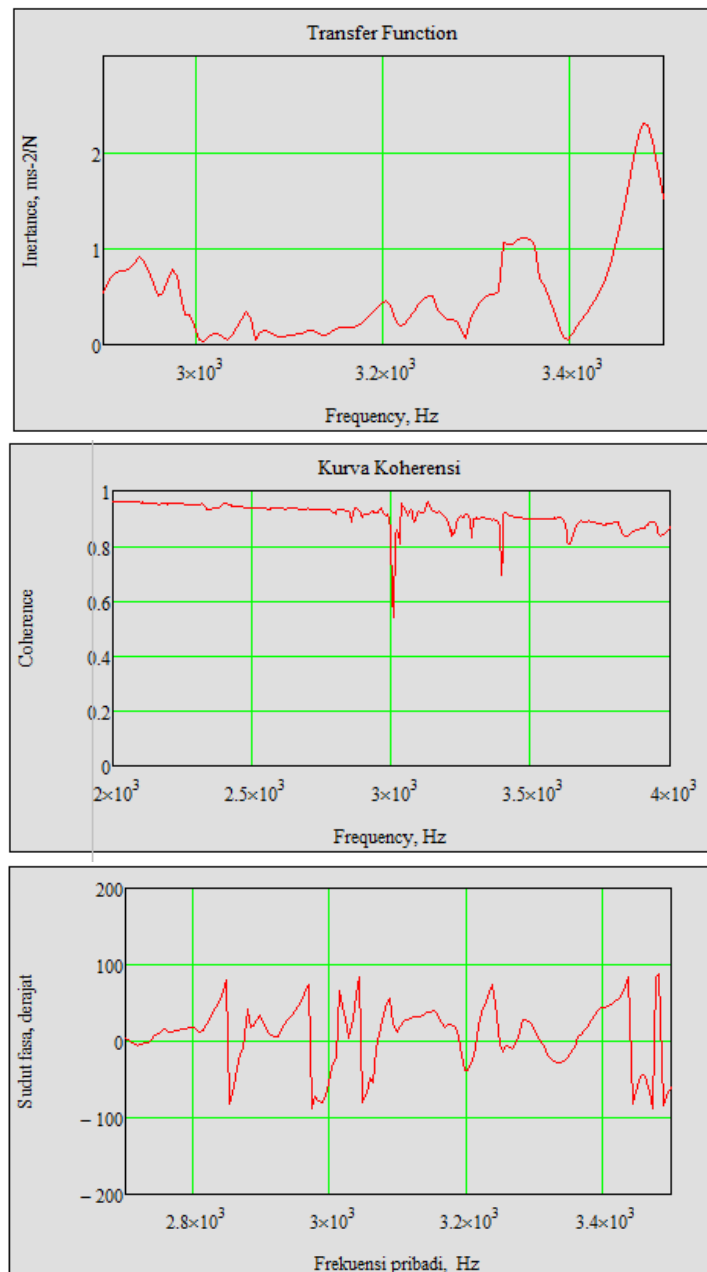


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL CACAT SEBAGIAN

DIMENSI 6-30-6

TITIK PENGUJIAN “2C”

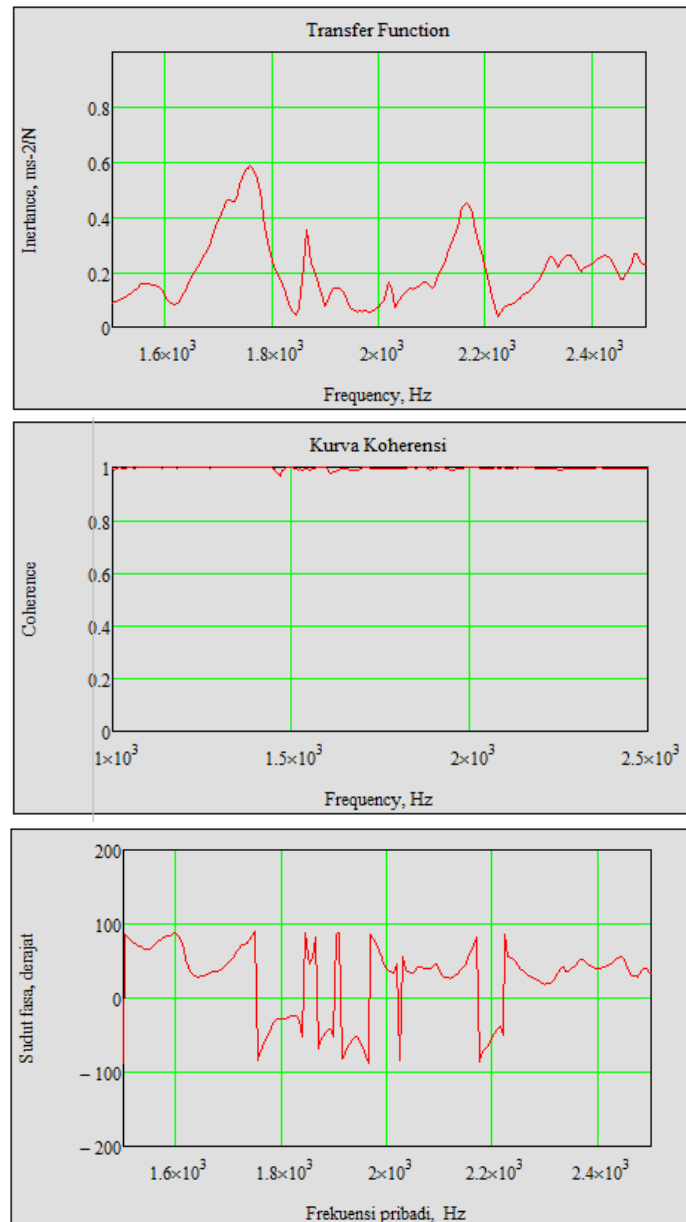


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN CACAT PENUH

DIMENSI 4-30-4

TITIK PENGUJIAN “1A”

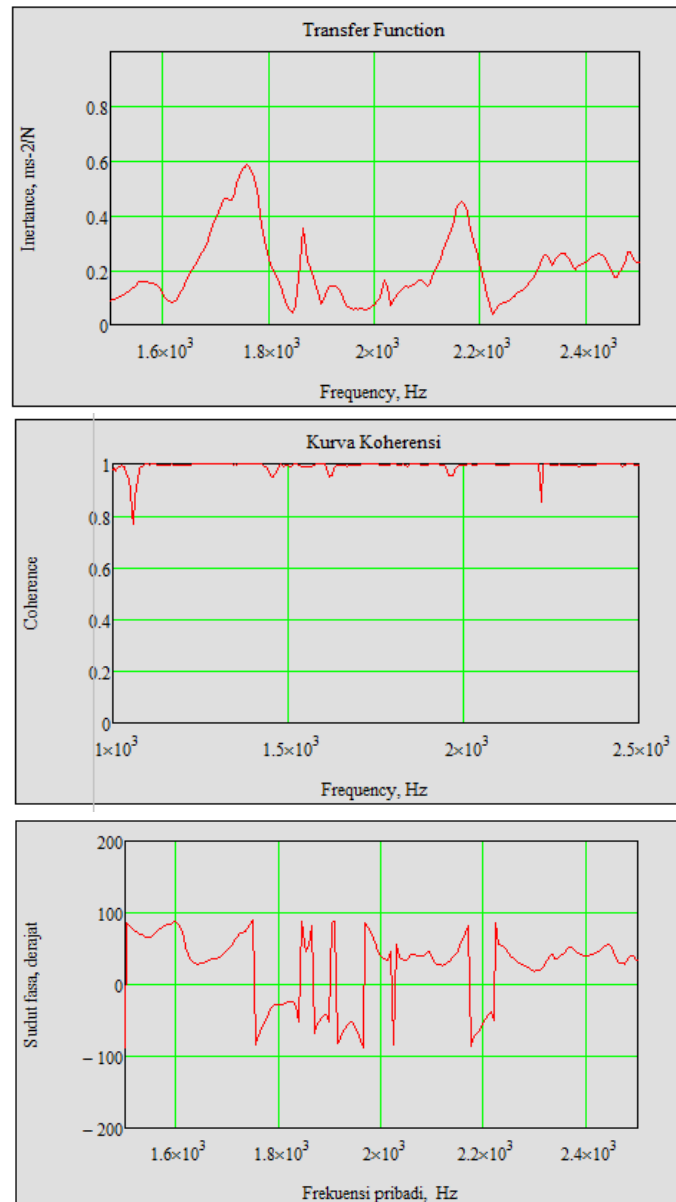


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 4-30-4

TITIK PENGUJIAN “1B”

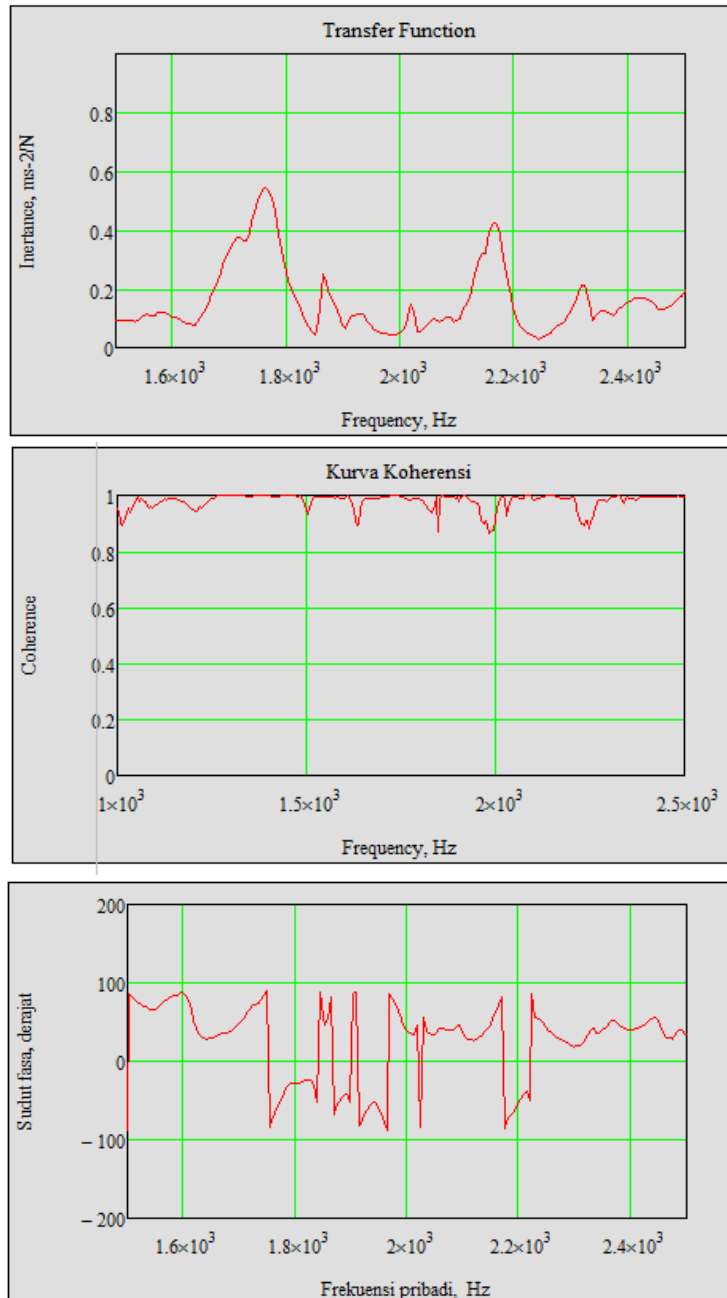


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 4-30-4

TITIK PENGUJIAN “1C”

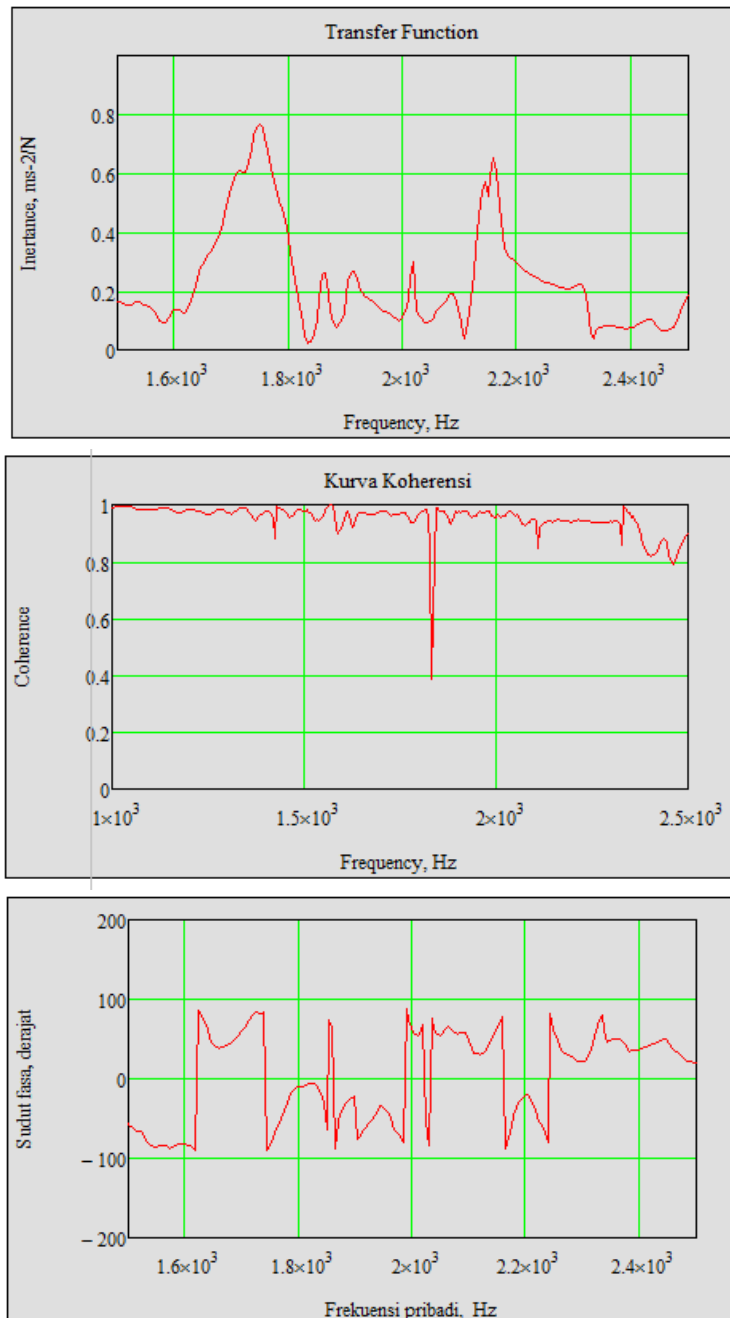


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 4-30-4

TITIK PENGUJIAN “2A”

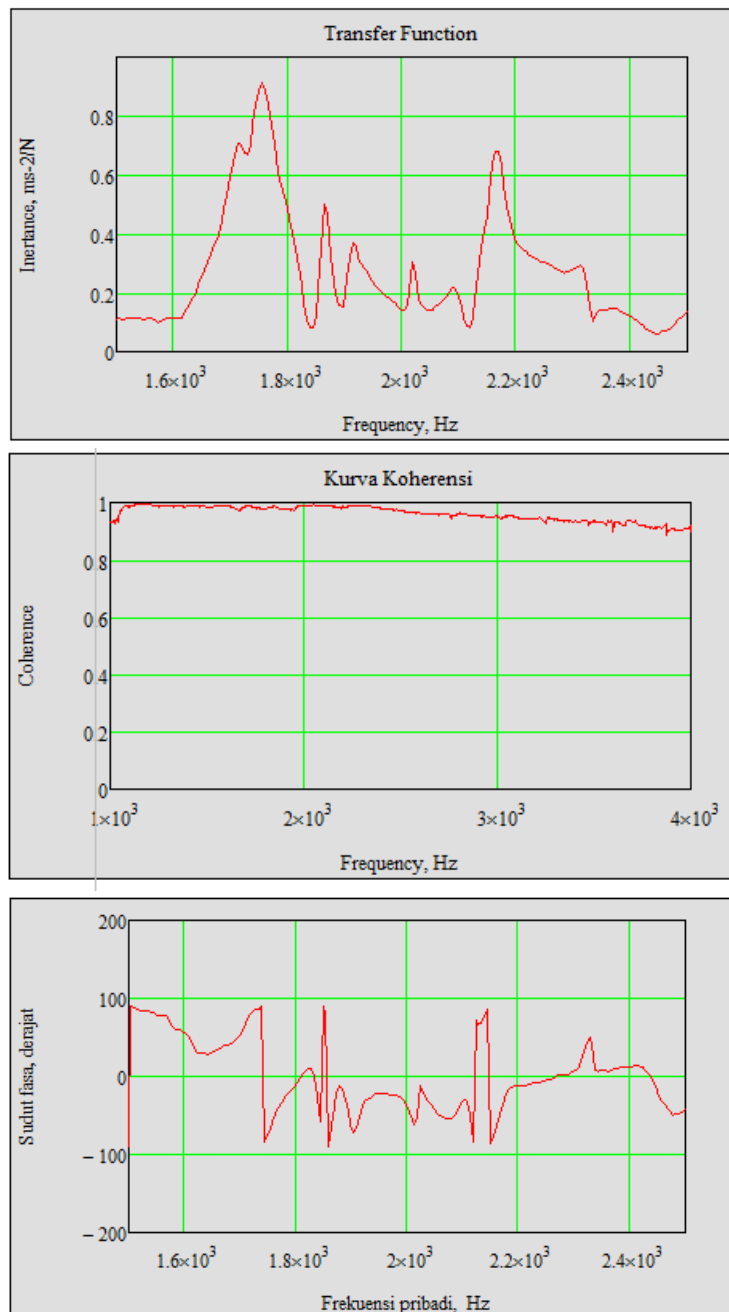


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 4-30-4

TITIK PENGUJIAN “2B”

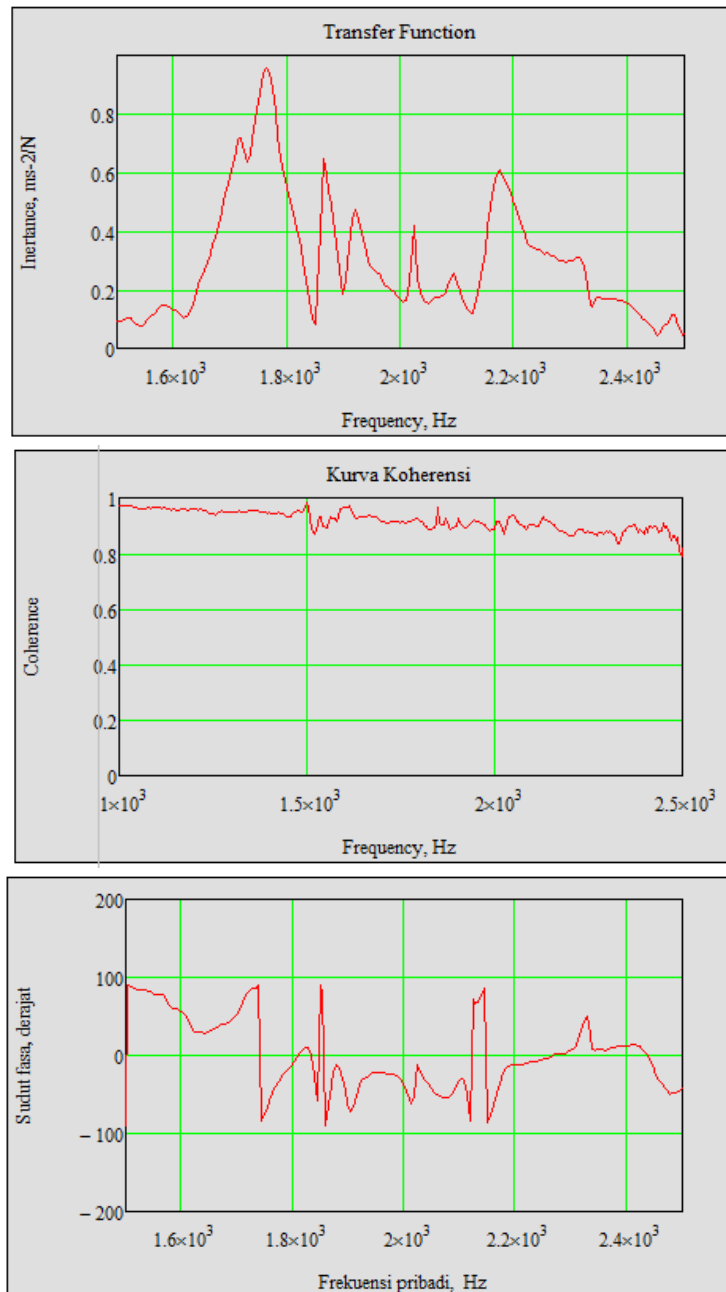


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 4-30-4

TITIK PENGUJIAN “2C”

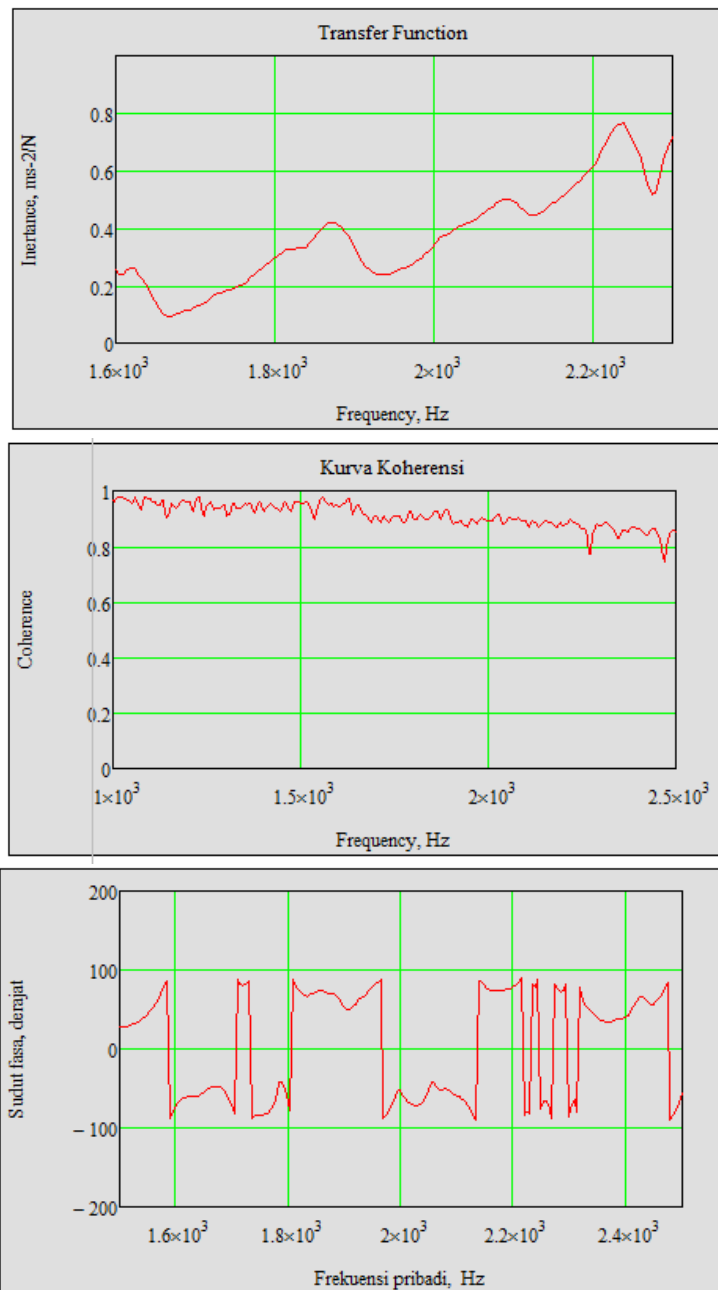


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 4-35-4

TITIK PENGUJIAN “1A”

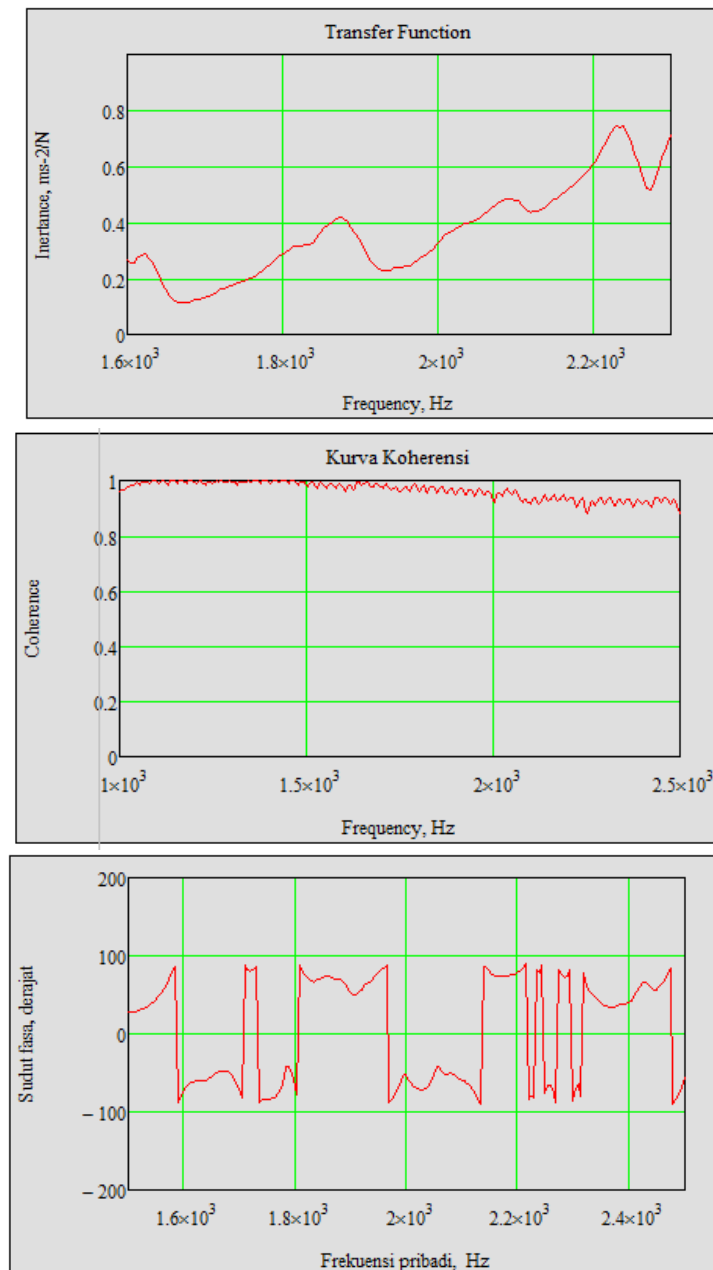


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 4-35-4

TITIK PENGUJIAN “1B”

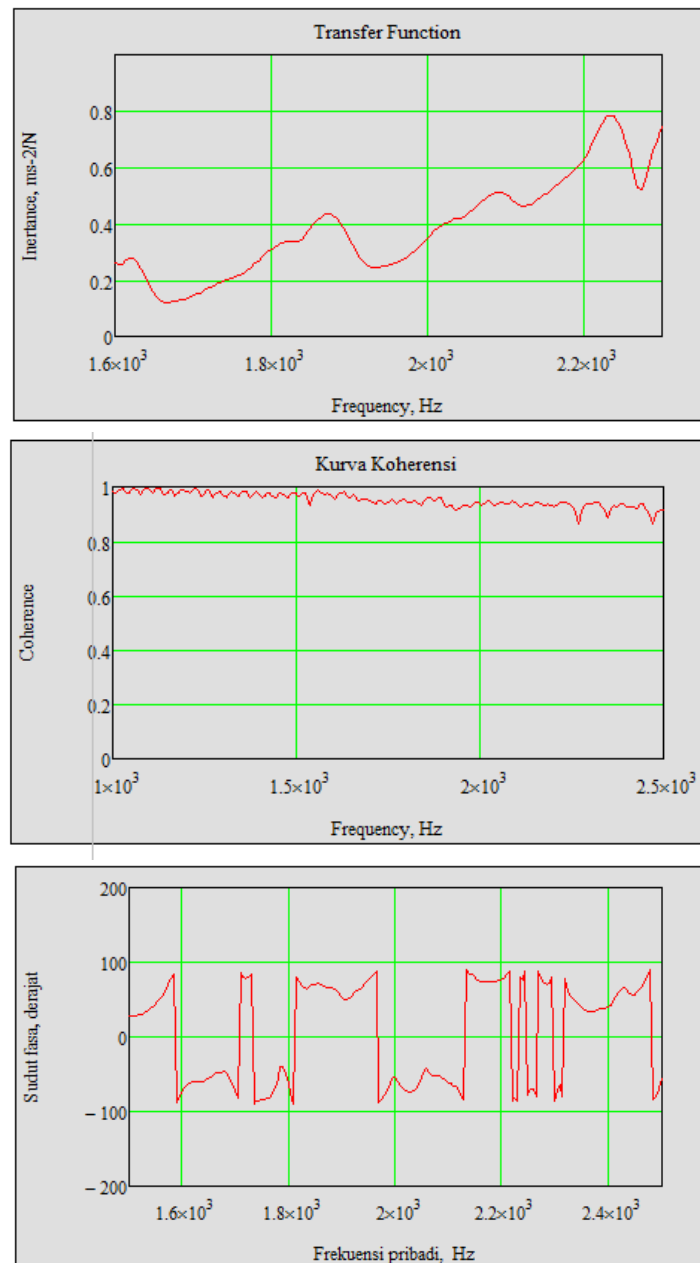


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 4-35-4

TITIK PENGUJIAN “1C”

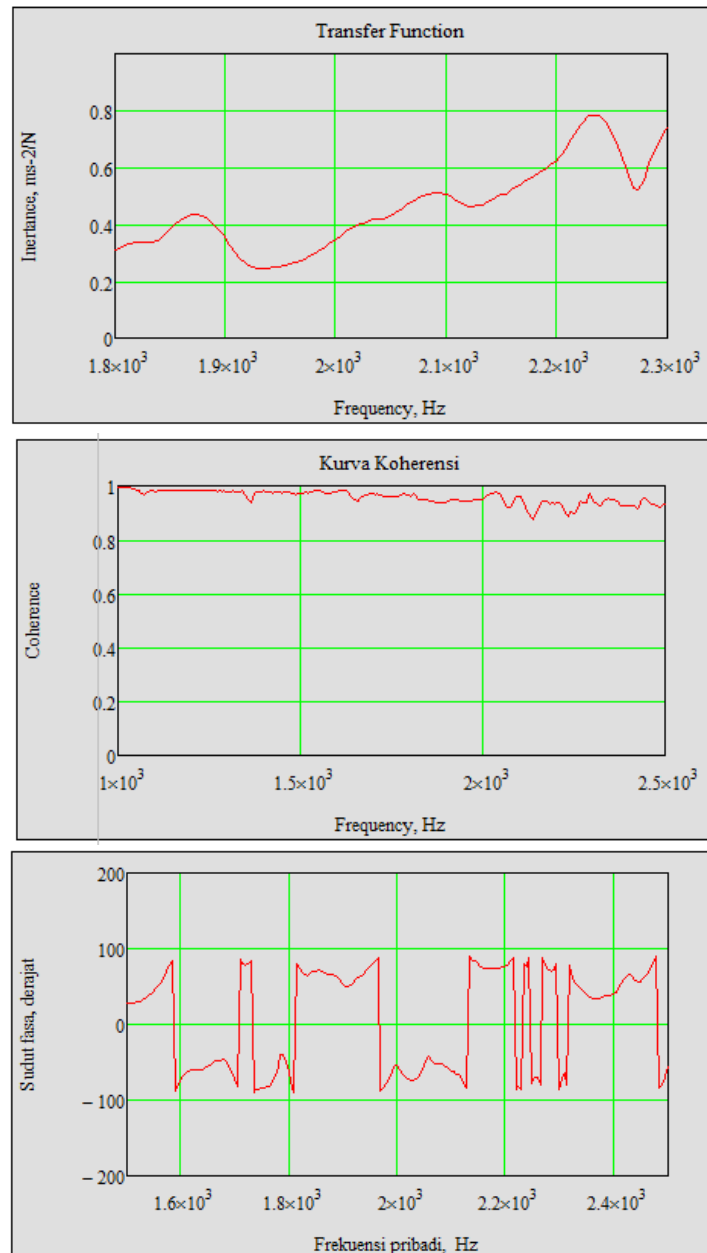


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 4-35-4

TITIK PENGUJIAN “2A”

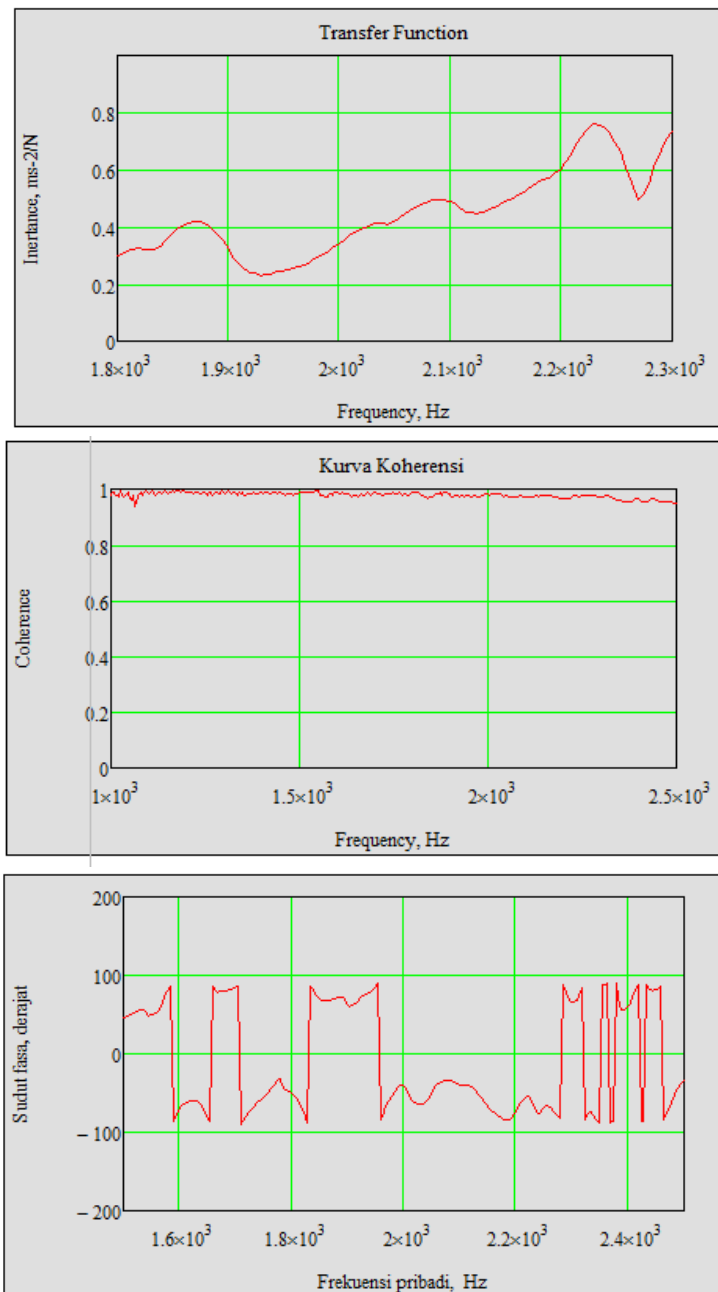


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 4-35-4

TITIK PENGUJIAN “2B”

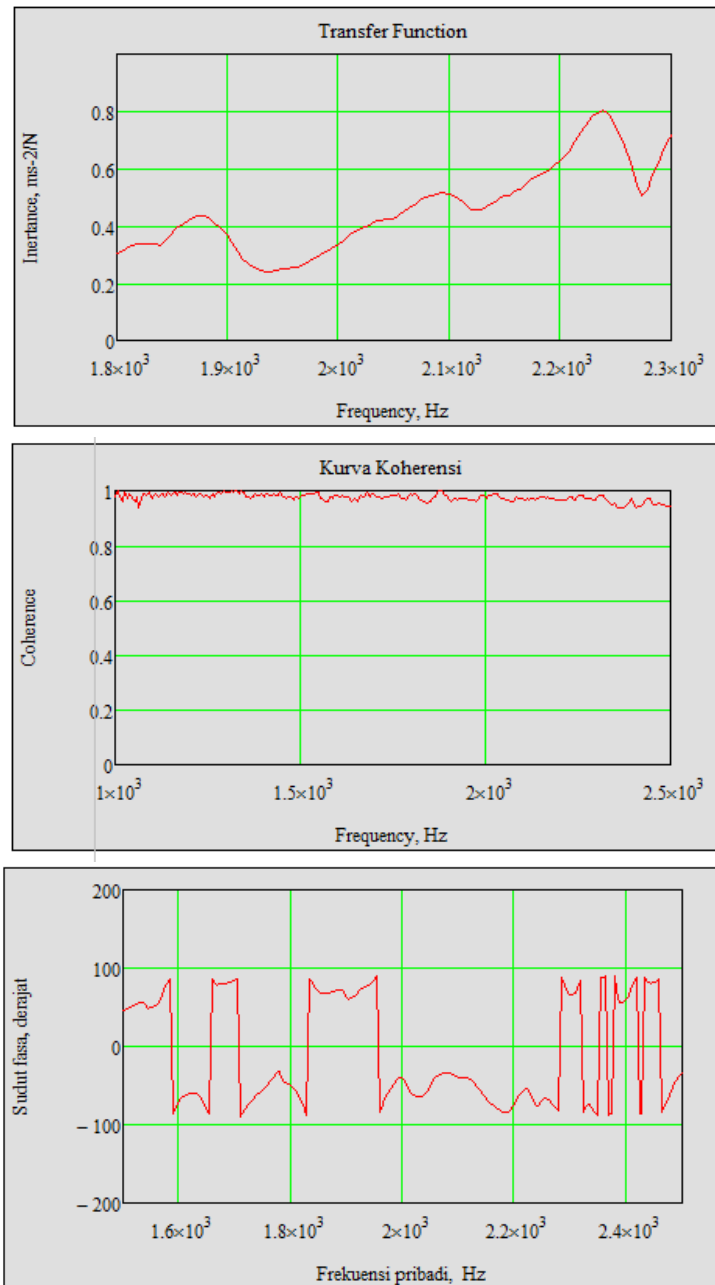


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 4-35-4

TITIK PENGUJIAN “2B”

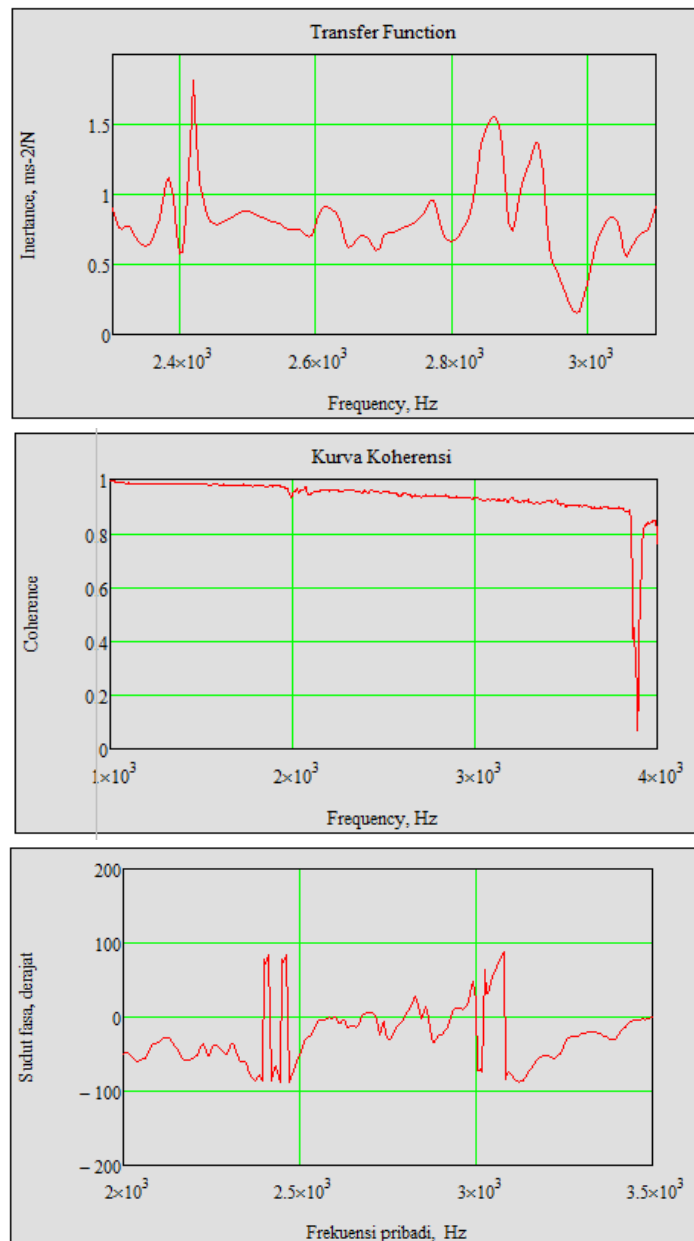


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 6-20-6

TITIK PENGUJIAN “1A”

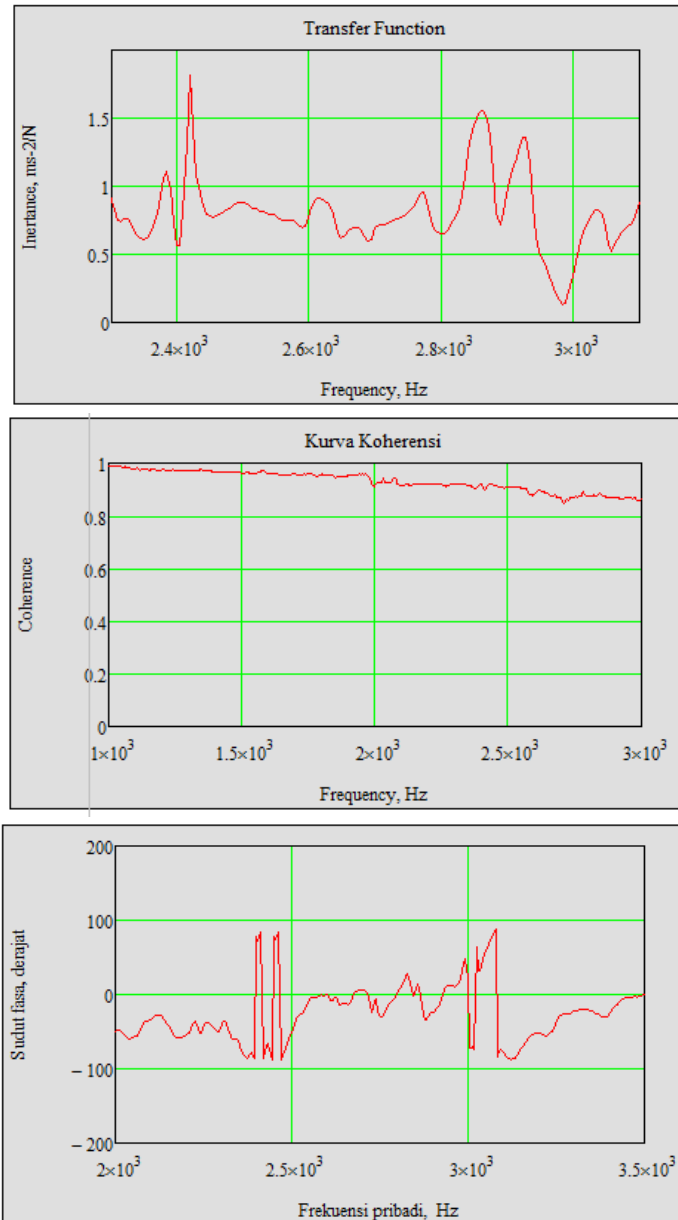


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 6-20-6

TITIK PENGUJIAN “1B”

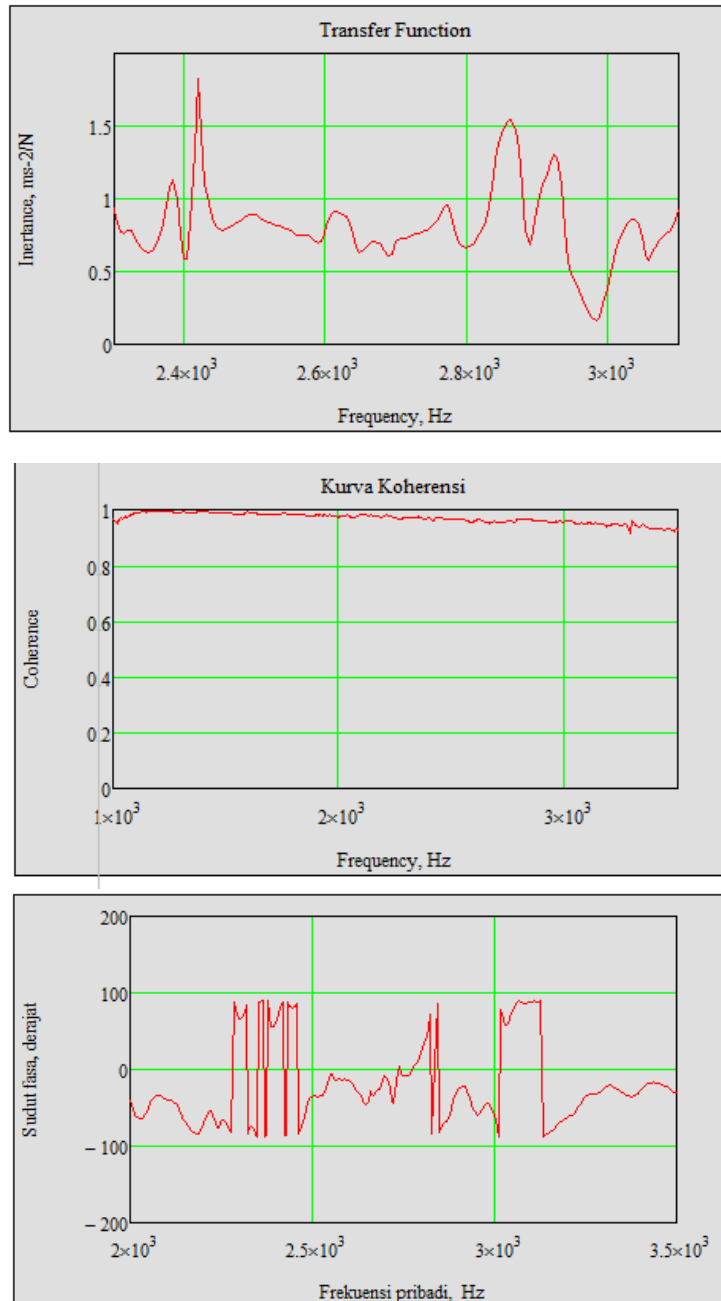


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 6-20-6

TITIK PENGUJIAN “1C”

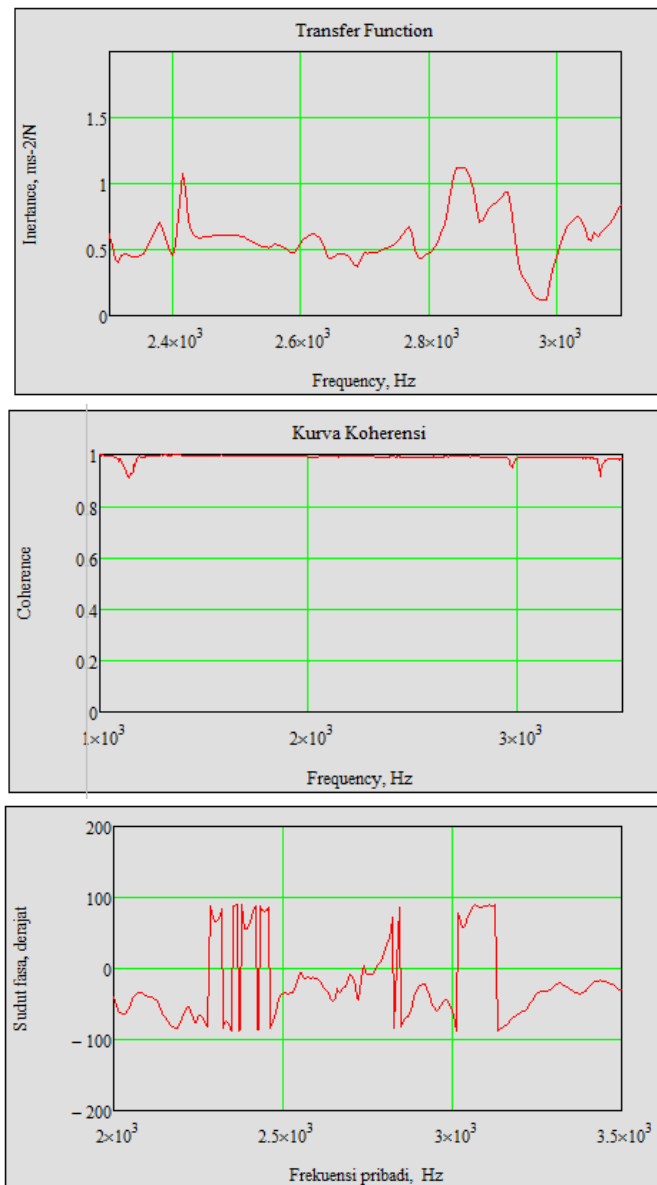


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 6-20-6

TITIK PENGUJIAN “2A”

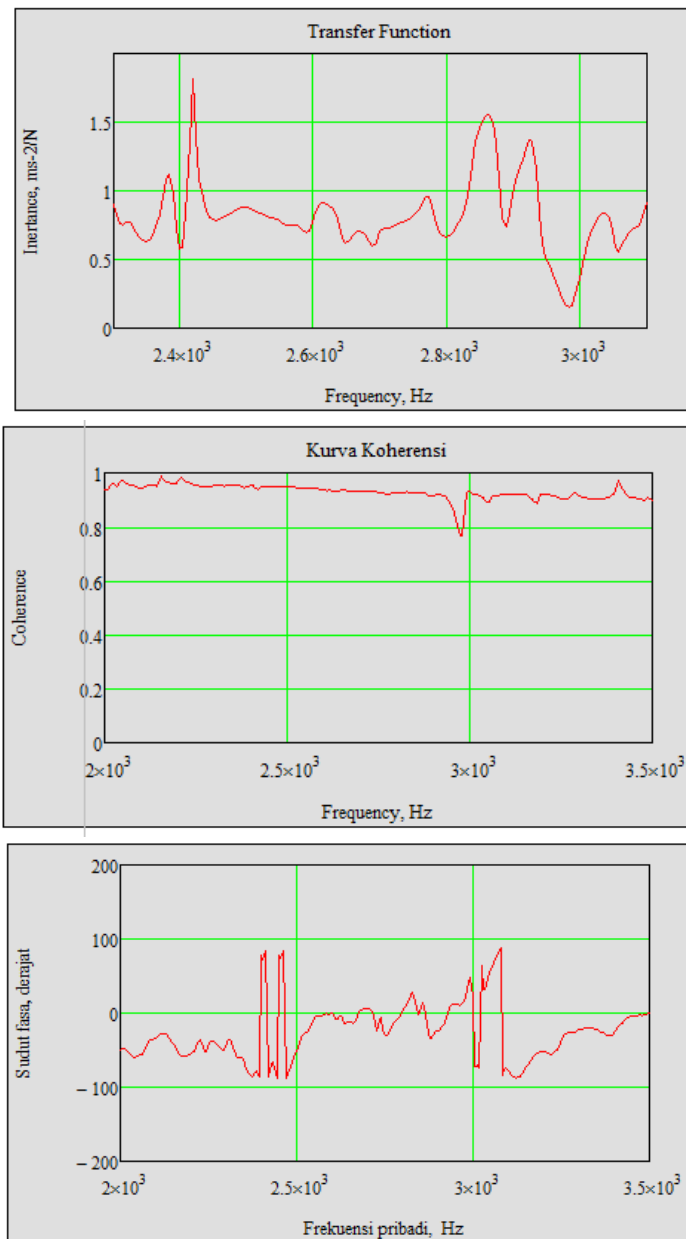


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 6-20-6

TITIK PENGUJIAN “2B”

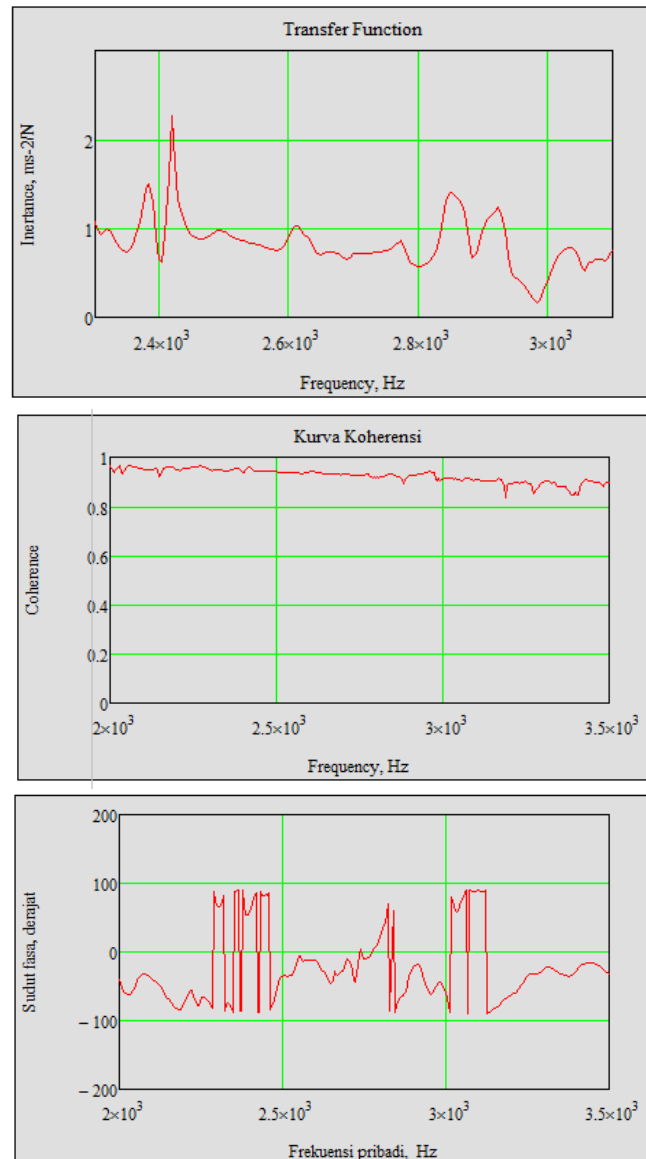


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 6-20-6

TITIK PENGUJIAN “2C”

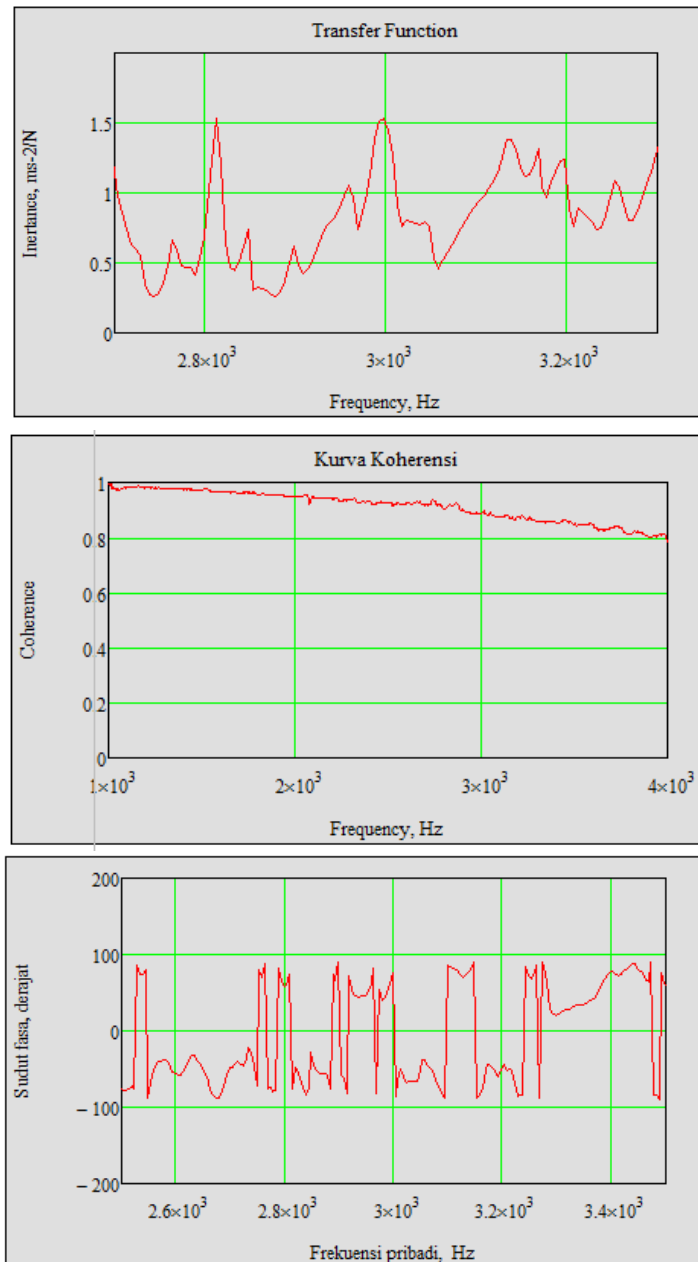


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 6-30-6

TITIK PENGUJIAN “1A”

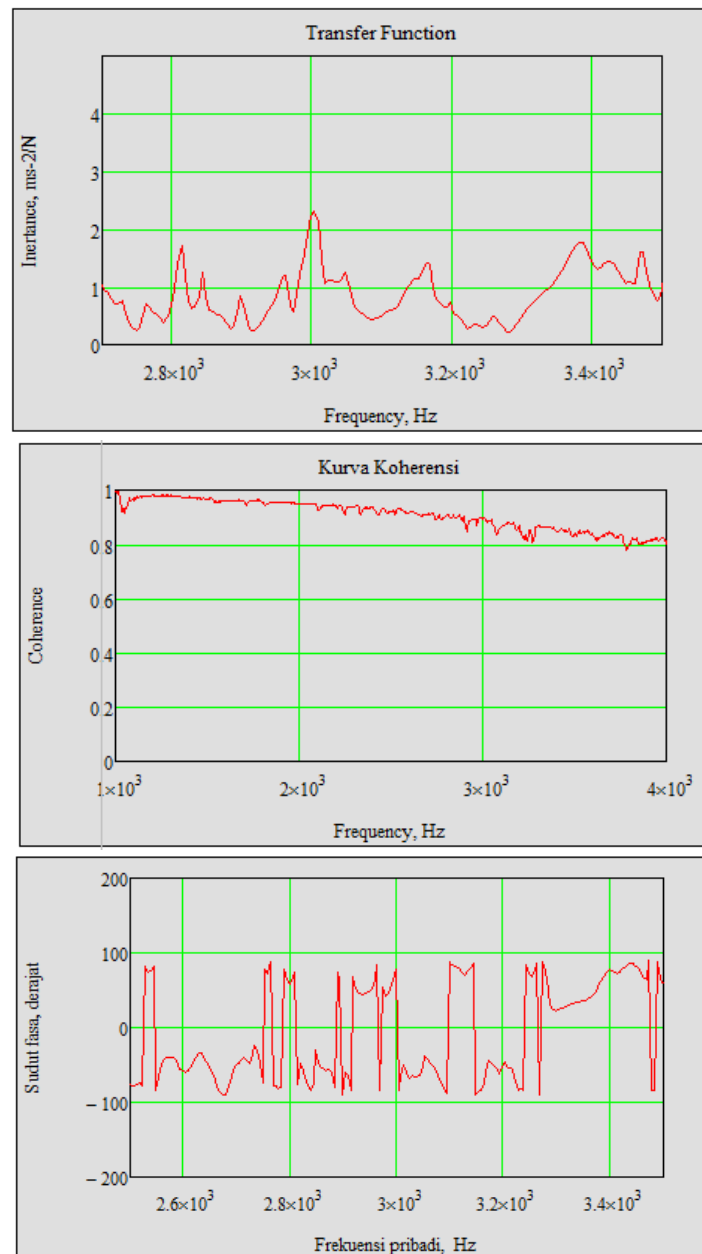


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 6-30-6

TITIK PENGUJIAN “1B”

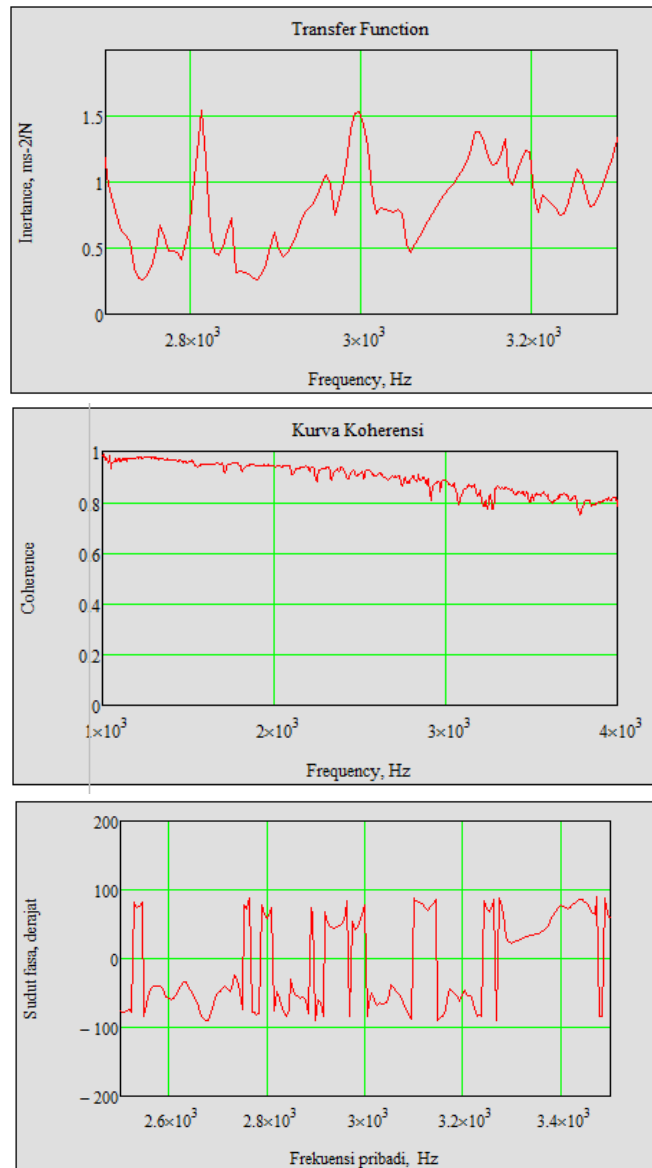


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 6-30-6

TITIK PENGUJIAN “1C”

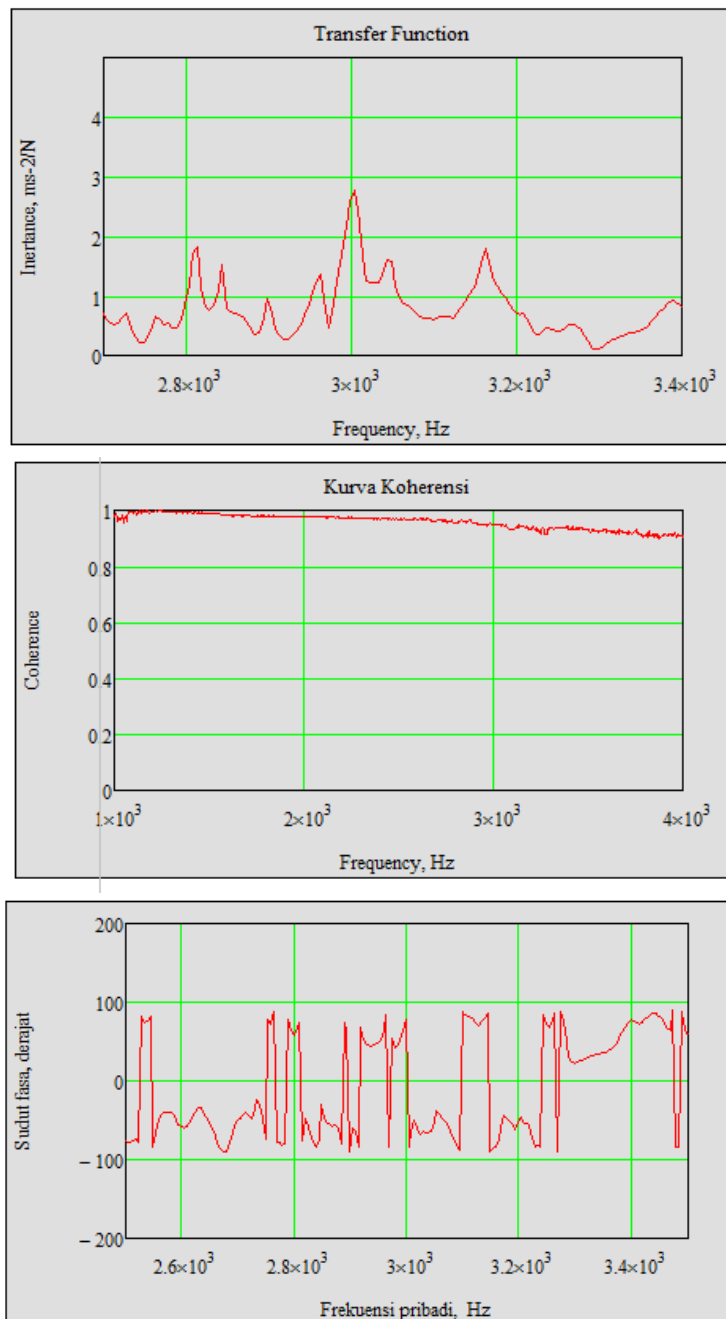


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 6-30-6

TITIK PENGUJIAN “2A”

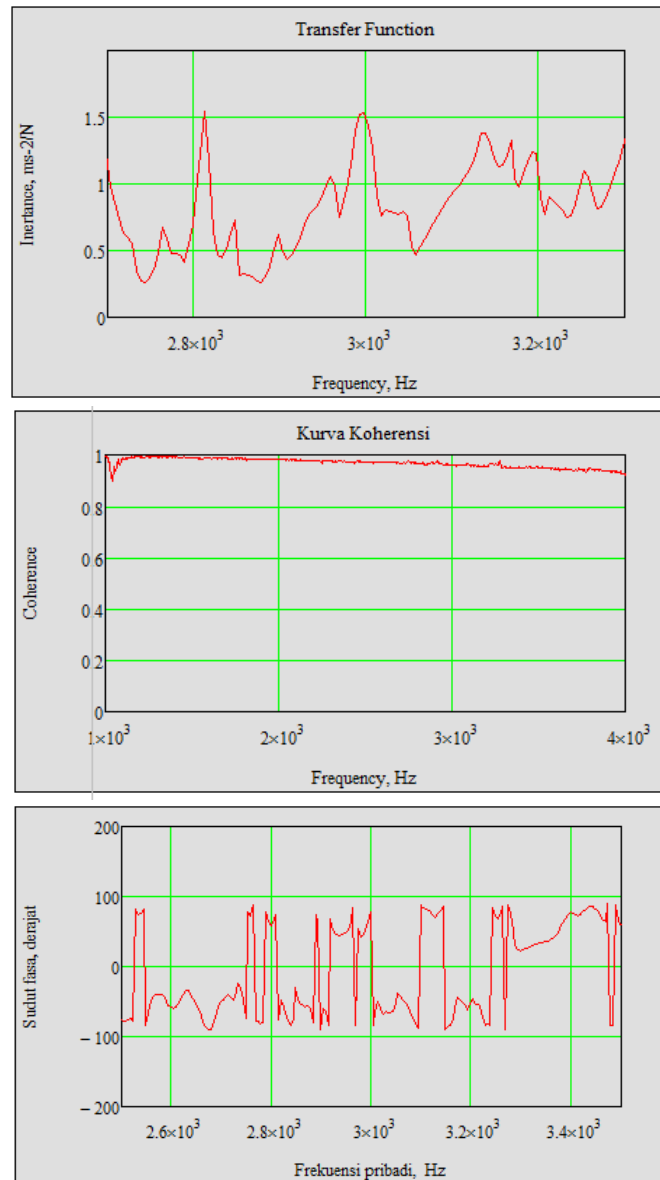


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 6-30-6

TITIK PENGUJIAN “2B”

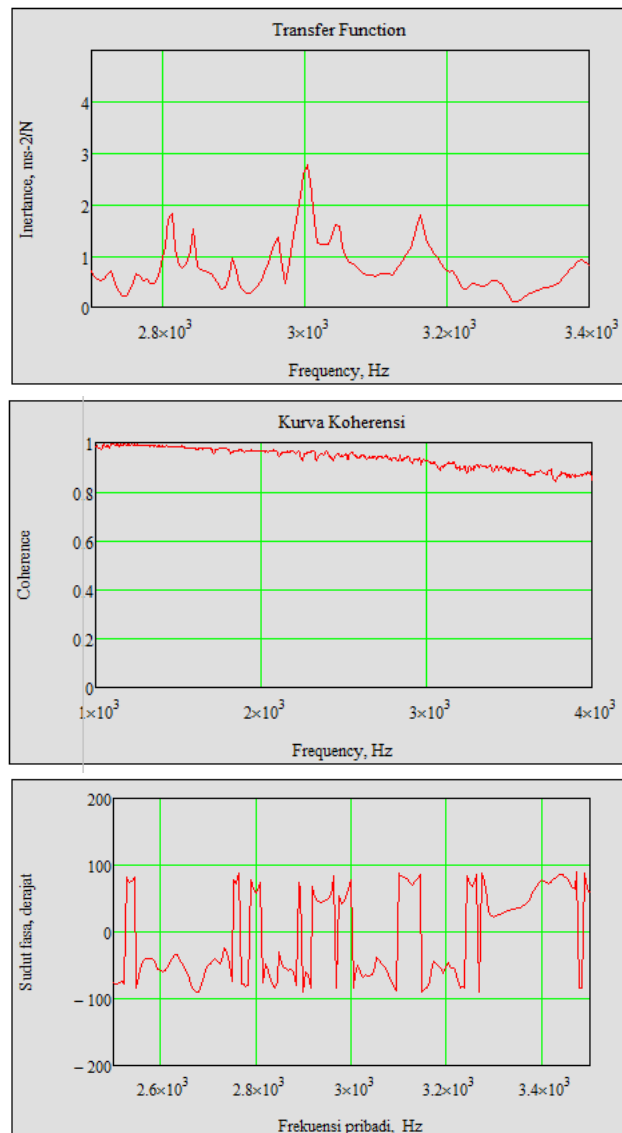


screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

PENGUJIAN FREKUENSI NATURAL SANDWICH PANEL DENGAN KETEBALAN CACAT PENUH

DIMENSI 6-30-6

TITIK PENGUJIAN “2C”



screenshot kurva koherensi, transfer function, dan sudut fase pada pengujian frekuensi natural sandwich panel

BIODATA PENULIS



Indra Hary Winahyu lahir di Pacitan, Jawa Timur pada Sabtu, 27 Juni 1992. Anak pertama dari dua bersaudara, pasangan Ir. Moh. Cholil dan Lilik Mahmudah ini menghabiskan masa kecil dan pendidikannya diberbagai kota di Indonesia. Hal ini disebabkan orang tua penulis yang bekerja sebagai pegawai BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) yang mengharuskan untuk berpindah lokasi setiap periode waktu tertentu.

Masa sekolah dasar penulis dihabiskan di berbagai institusi pendidikan, diantaranya SD Muhammadiyah Kebraon, SD Pertamina 1 Dumai, Riau, dan kemudian dinyatakan lulus di SD Islam Al-Falah Tropodo Sidoarjo. Pada tingkat Sekolah Menengah Pertama, penulis melanjutkan pendidikan di SMP Islam Al-Falah Deltasari, Sidoarjo dan kemudian berpindah dan dinyatakan lulus pada SMP Islam Al-Azhar 14 Semarang.

Pada tingkat SMA, penulis menempuh pendidikan di SMAN 1 Semarang. Pada tahun 2009, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Teknik Perkapalan ITS Surabaya.

Selama jenjang pendidikan S1, penulis ikut serta dalam kursus demi memberi nilai tambah pada diri penulis, yaitu menjadi seorang NDT Level II pada bidang Pengujian Ultrasonik dan Interpretasi Radiologi. Alhamdulillah, pada tahun 2014, penulis berhasil menempuh pendidikan S1 dengan IPK 3,14. Judul tugas akhir yang dipilih penulis adalah “Studi Penentuan Retak Pada Sambungan Las *Cladding* pada Tangki Kapal menggunakan Pengujian Ultrasonik”.

Pada tahun 2015, penulis secara resmi menjadi mahasiswa Program Pasca Sarjana Teknologi Kelautan ITS pada Jurusan Teknik Produksi dan Material Kelautan dengan bidang konsentrasi Konstruksi dan Kekuatan Kapal. Judul Thesis yang diangkat penulis pada proses menempuh pendidikan Magister adalah “ Analisis Kerusakan Material Sandwich Panel pada Konstruksi Kapal menggunakan Getaran”